

# **PARTICULARIDADES GEOMÉTRICAS DE ESTRADAS DE MONTANHAS**

**IVO JOAQUIM MOTA GONÇALVES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**

---

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JULHO DE 2016

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



[miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



[feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

\

*“É comprida a estrada que vai desde a intenção até à execução.”*

*Jean Baptiste Poquelin Molière*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França pela disponibilidade prestada e pela motivação que sempre me tentou inculcar ao longo do percurso da elaboração da dissertação.

À Dona Guilhermina por estar sempre disponível para me dar uma palavra amiga e de me alertar para situações ocorrentes.

Aos meus pais, por me terem dado a hipótese de seguir esta trajetória.

A todos os meus avós, que enquanto estiveram presentes sempre me apoiaram e incentivaram em todos os aspetos possíveis e me tentaram instruir da melhor forma possível.

À cidade do Porto, e ao mágico Xadrez!! Aos meus companheiros axadrezados, onde estivemos sempre juntos nos bons e maus momentos, na vitória e na derrota, no CNS ou na 1ª.

A Coimbra, e a todos com quem tive oportunidade de me cruzar na FCTUC, que foi onde se iniciou o meu percurso académico.

Ao grande Carlos João pela sua amabilidade para disponibilizar o seu conhecimento e sabedoria sempre que necessário e não necessário.

Ao grande Madeiras que foi o meu companheiro de tese, e que me acompanhou em todos os bons e maus momentos, e que o terei em enorme consideração e amizade ao longo dos tempos futuros.

Ao Tiago Carvalho, David Rocha e Diogo Simões por me terem acompanhado ao longo deste traçado pela FEUP.

À Guida, Super Guida e Guidete por ser capaz de revelar as suas 3 personalidades em menos de 2 horas.

Ao Rui, Filipe, Walter, Eloi e Bárbara pela disponibilidade de discussão sobre alguns caminhos a percorrer neste percurso.



## **RESUMO**

O projeto de vias rodoviárias, nomeadamente estradas de montanha, é constituído por várias singularidades nos diferentes países, embora também tenha diferenças significativas consoante os normativos que se aplicam, sendo o principal objetivo desta dissertação realizar uma análise de alguns aspetos das mesmas, bem como uma análise das normativas de Portugal.

Estando a tratar de estradas montanhosas em Portugal Continental, é de referir que os fenómenos atmosféricos mais graves terão ocorrência com maior probabilidade nos pontos mais altos. Sendo aqui também onde se verificará os maiores problemas de circulação dos veículos, a análise efetuada será baseada nos veículos pesados. As análises a efetuar serão realizadas ao nível da planta, perfil transversal e perfil longitudinal, bem como todos os elementos adjacentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** engenharia rodoviária, normas de traçado em Portugal, montanhas, curvas.





## **ABSTRACT**

The design of roads, especially mountain roads, consists of several singularities in different countries, although it also has significant differences depending on the standards and rules that apply, being the main objective of this dissertation to perform an analysis of some aspects, as well as an analysis of Portugal standards.

Being the case of mountain roads in Portugal, it is noted that the most onerous atmospheric phenomena will occur most likely at the highest points. Being here the worst vehicle circulation problems, the performed analysis will be based on heavy vehicles. Analyzing will be made at the plant level, cross-section and longitudinal profile as well as all adjacent elements.

**KEYWORDS:** road engineering, Portuguese road design standard, mountain, curves.



## ÍNDICE GERAL

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	ix
<b>SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS</b> .....	xi
 <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	 1
1.1. ZONAS MONTANHOSAS .....	1
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5
 <b>2. TRAÇADO EM PLANTA E EM PERFIL LONGITUDINAL</b> .....	 7
2.1. GENERALIDADES .....	7
2.2. ELEMENTOS BÁSICOS E VELOCIDADE BASE .....	7
2.3. PLANTA .....	9
2.3.1. GENERALIDADES .....	9
2.3.2. LINHA DOS ZEROS .....	9
2.4. PERFIL LONGITUDINAL .....	10
2.4.1. GENERALIDADES .....	10
2.4.2. VEÍCULOS LIGEIROS VS PESADOS EM ESTRADAS DE MONTANHA .....	11
2.4.3. VEÍCULO ESCOLHIDO .....	14
2.4.4. SENTIDO ASCENDENTE .....	16
2.4.4.1 Caso Particular .....	20
2.4.4.2. Soluções .....	20
2.4.5. SENTIDO DESCENDENTE .....	21
2.4.5.1. Distância de Travagem .....	22
2.4.5.2. Soluções .....	27
 <b>3. PERFIL TRANSVERSAL</b> .....	 28
3.1. GENERALIDADES .....	28
3.2. INCLINAÇÃO TRANSVERSAL .....	29
3.3. SOBREELEVAÇÃO .....	29

<b>3.4. BERMAS</b> .....	30
<b>3.5. SOBRELARGURA</b> .....	31
3.5.1. VEÍCULOS A ANALISAR.....	32
3.5.2. METODOLOGIA A ADOTAR.....	34
3.5.3. RESULTADOS OBTIDOS.....	36
<b>3.6. DRENAGEM</b> .....	39
3.6.1 I – INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO .....	40
3.6.1.1. Temez (1978) .....	42
3.6.1.2. Velocidade de Escoamento Superficial.....	42
3.6.2. C-COEFICIENTE DE ESCOAMENTO.....	43
3.6.2.1. Temez .....	44
3.6.2.2. Fórmula Racional (ASCE) .....	44
3.6.2.3. NÚMERO DE ESCOAMENTO, SOIL CONSERVATION SERVICE.....	45
3.6.2.4. NORMAS ESPANHOLAS .....	46
<b>3.7. ELEMENTOS DE DRENAGEM</b> .....	47
3.7.1. VALETAS.....	47
3.7.2. PASSAGENS HIDRÁULICAS .....	48
3.7.3. BACIAS DE RETENÇÃO.....	49
 <b>4. COORDENAÇÃO DO TRAÇADO EM PLANTA E EM PERFIL LONGITUDINAL</b> .....	 53
 <b>5. ESTRADAS COM CURVAS EM LACETE</b> .....	 57
5.1. GENERALIDADES.....	57
5.2. LYSEVEGEN – NORUEGA.....	58
5.3. SAN BOLDO PASS - ITÁLIA.....	59
 <b>6. CONCLUSÃO</b> .....	 61
 <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	 63
 <b>ANEXOS</b> .....	 65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Mapa de relevo de Portugal .....	1
Fig. 1.2 – Mapa de relevo da Europa .....	3
Fig.2.1 – Exemplo de transporte especial em estrada de montanha no deserto do Atacama (Chile) ...	8
Fig.2.2 – Exemplo de transporte especial em estrada de montanha no deserto do Atacama (Chile) .	12
Fig.2.3 - Evolução do valor de produção de energia eólica nos últimos 20 anos.....	13
Fig.2.4 - Transporte especial de elemento de torre eólica.....	13
Fig.3.1. - Constituição de uma curva composta .....	29
Fig.3.2 – Principais distâncias de uma curva circular .....	34
Fig.3.3 - Exemplo de cruzamento entre veículos de diferentes tipologias .....	35
Fig.3.4 – Curvas IDF .....	41
Fig.3.5 – Relação entre declives e velocidades de escoamentos para diferentes tipologias.....	43
Fig.5.1. - Exemplos de soluções admissíveis para curvas em lacetes.....	57
Fig.5.2 – Estrada de Lysevegen.....	58
Fig.5.3 – San Boldo Pass.....	59



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Pontos mais altos dos principais conjuntos montanhosos de Portugal .....	2
Quadro 1.2 - Pontos mais altos dos principais conjuntos montanhosos da Europa.....	3
Quadro 2.1 – Características mecânicas e físicas do veículo escolhido .....	15
Quadro 2.2 – Resumo de cálculo do esforço de tração do veículo de caso de estudo .....	17
Quadro 2.3 - Inclinações passíveis de serem vencidas pelo veículo, com Crawl engrenada .....	18
Quadro 2.4 - Inclinações passíveis de serem vencidas pelo veículo, com a 1ª velocidade engrenada	18
Quadro 2.5 - Inclinações passíveis de serem vencidas pelo veículo, com a 2ª velocidade engrenada	18
Quadro 2.6 - Inclinações passíveis de serem vencidas com a variância do coeficiente de aderência longitudinal .....	20
Quadro 2.7 - Distância de travagem para piso com neve e/ou gelo ( $\mu = 0,1$ ) .....	24
Quadro 2.8 - Distância de travagem para piso molhado ( $\mu = 0,3$ ) .....	25
Quadro 2.9 - Distância de travagem para piso seco ( $\mu = 0,8$ ) .....	26
Quadro 3.1 – Quadro de Dimensões máximas dos veículos para efeitos de circulação .....	32
Quadro 3.2 – Veículos escolhidos e Dimensões consideradas .....	33
Quadro 3.3 – Raios mínimos que permitem o cruzamento entre um veículo ligeiro e um camião .....	35
Quadro 3.4 - Valores de Se para interseções entre veículos de diferentes tipologias para $r_i = 20$ metros .....	36
Quadro 3.5 - Valores de Se para interseções entre veículos de diferentes tipologias para $r_i = 30$ metros .....	37
Quadro 3.6 - Valores de Se para interseções entre veículos de diferentes tipologias para $r_i = 40$ metros .....	38
Quadro 3.7 - Limites de velocidades de escoamento superficial para diferentes inclinações .....	43
Quadro 3.8 - Valores para o coeficiente de escoamento para diferentes inclinações segundo as classificações do SCS .....	46
Quadro 3.9 – Valores de K segundo as Normas Espanholas .....	46
Quadro 3.10 – Correspondência entre os valores de K e C .....	47





## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

SI – sobrelargura

Se – sobrelevação

A – parâmetro da clotóide

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

INIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

SI – Sobrelargura

IDF – Intensidade Duração Frequência

ASCS - American Society of Civil Engineers

SCS - Soil Conservation Service







## 1

## INTRODUÇÃO

## 1.1. ZONAS MONTANHOSAS

Tratando-se nesta dissertação sobre estradas em zonas montanhosas deve ser feita uma introdução sobre as zonas em análise; tratando inicialmente das zonas montanhosas em Portugal, na Europa e no Mundo, tentando de certa forma localizar estas zonas bem como as possíveis estradas aí existentes e pretendendo analisar alguns dos desafios na sua construção.

Estas zonas montanhosas, caracterizam-se por ser formas de relevo com características topográficas próprias e únicas, apresentando uma proeminência elevada, com várias sequencias de altos e baixos, sendo que cada uma apresentará características únicas entre si.

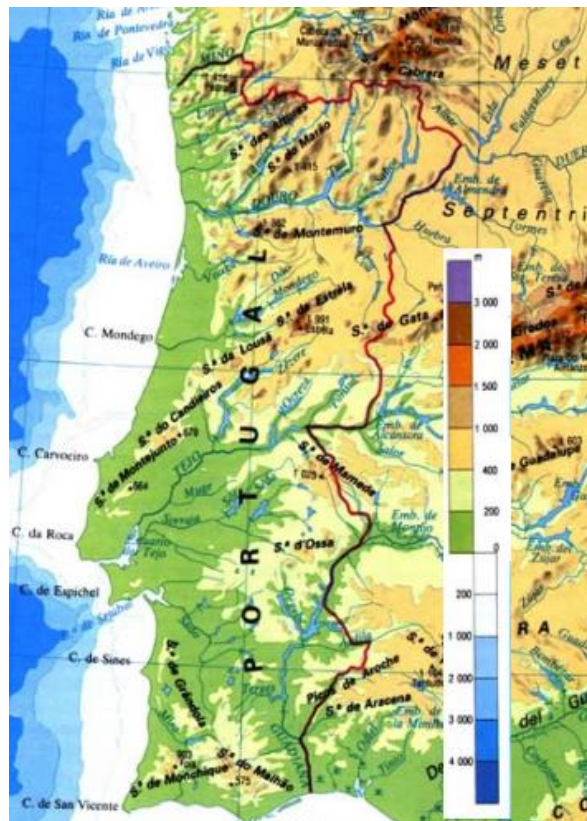


Fig. 1.1 – Mapa de relevo de Portugal [14]

No que diz respeito às zonas montanhosas em Portugal Continental (ver Quadro 1.1 ), é de notar que o interior Norte do país se apresenta como a zona mais “acidentada”, onde se destacam as cadeias montanhosas da Serra da Estrela, Larouco, Marão, Montesinho, Açor e Lousã, sendo que essas características se prolongam até ao distrito de Castelo Branco bem como as Serras das Peneda e Gerês, que se localizam numa zona mais no litoral do Norte. No que diz respeito à zona Centro (se excluirmos o distrito de Castelo Branco) e Sul, são territórios que não apresentam um relevo menos acidentado, ainda assim, é possível de destacar alguns pontos como as Serras da Arrábida e Montejunto, localizadas na zona da grande Lisboa, a Serra de São Mamede situada no distrito de Portalegre (que perfaz a cadeia montanhosa mais alta a sul do Rio Tejo), as Serras do Caldeirão e Monchique localizadas no distrito do Algarve.

Quadro 1.1 – Pontos mais altos dos principais conjuntos montanhosos de Portugal

Pico	Serra	Altitude
Torre	Serra da Estrela	1993 metros
Pico da Nevosa	Serra da Gerês	1548 metros
Larouco	Serra do Larouco	1535 metros
Lombada Grande	Serra de Montesinho	1600 metros
Pico da Cebola	Serra do Açor	1418 metros
Pedrada	Serra da Peneda	1416 metros (768 metros de proeminência)
Pedrada	Serra do Soajo	1416 metros
Marão	Serra do Marão	1415 metros (689 metros de proeminência)
Talegre / Talefe	Serra de Montemuro	1381 metros
Louriça	Serra Amarela	1362 metros

O continente Europeu, ao nível topográfico é de notar que apresenta uma altitude média bastante baixa, sendo constituída principalmente por planícies e planaltos, que constituem 80% do território europeu, com cerca de 230 metros acima do nível das águas do mar. Sendo que Portugal, estando inserido na Península Ibérica, se apresenta, como todo o Sul da Europa, como um território mais acidentado; excetuando os Montes Escandinavos e os Montes Urais é no Sul da Europa que encontramos as zonas mais acidentadas. No Sul da Europa é de destacar os Montes do Cáucaso, nas fronteiras entre a Rússia, Geórgia e Azerbaijão com os 4 pontos mais altos da Europa; é de destacar também os Pirenéus, Alpes e zona dos Balcãs, tratando-se de terreno bastante acidentado e de importantes fronteiras.



Fig. 1.2 – Mapa de relevo da Europa [22]

Quadro 1.2 - Pontos mais altos dos principais conjuntos montanhosos da Europa

Conjunto Montanhoso	País	Altitude
Elbrus	Rússia	5642 metros
Rustaveli	Geórgia	5201 metros
Dykh-Tau	Geórgia	5198 metros
Kazbek	Geórgia	5047 metros
Mont Blank	França/Itália	4807 metros
Klyuchvskaya	Rússia	4750 metros
Ushba	Geórgia	4710 metros
Mont Rosa	Itália/Suíça	4634 metros
Dom	Suíça	4555 metros
Cervino	Itália/Suíça	4479 metros

Atendendo ao planeta Terra e aos maiores picos é de destacar que nenhum se encontra no continente europeu e que todos possuem mais de 8000 metros de altitude, situados na região dos Himalaias (entre Sul da China, Nepal, Índia e Paquistão), alturas estas onde existe dificuldade de prosperidade da vida, tratando-se essencialmente de zonas remotas. Podendo, porém, ter outras finalidades bastante atrativas a altitudes mais baixas a alguma distância dos picos das cordilheiras, como por exemplo, turismo e exploração mineira, bem como possíveis desenvolvimentos de parques eólicos e barragens, sendo para tal necessário desenvolver vias de comunicação para tal. É nestas zonas possível de encontrar as estradas mais perigosas do mundo, sendo que para além do fator altitude, que altera a capacidade de concentração de qualquer condutor é de referir também fatores atmosféricos como os ventos fortes, nevões, desabamentos de terras e chuva intensa, existem também estradas, que para além de frequentemente se tratarem de vias que não estão devidamente pavimentadas, é uma constante a ausência de proteções perante desfiladeiros, sendo comum a ocorrência de quedas de veículos.

Os pontos de interesse, que se associam a estas zonas, estendem-se desde o turismo a agricultura, passando pelas energias renováveis, gastronomia e prática de desportos radicais, bem como a fauna e flora. Devendo, portanto, assegurar as devidas condições de segurança nas vias de comunicação adjacentes a estas zonas, destacando as distâncias de visibilidade de paragem e ultrapassagem e as visibilidades em curva e concordância (sendo estas de difícil cumprimento devido às limitações existentes).

São muitas vezes definidas por maciços montanhosos e cursos de água adjacentes fronteiras importantes entre países, devendo assim, as estradas confinantes possuir boas condições de circulação, o que por vezes se torna um trabalho de elevada complexidade e que pode acarretar custos elevados, no que diz respeito ao desenvolvimento das vias de comunicação nestas zonas fronteiriças. Esta complexidade inerente a qualquer via em montanha, devem-se em grande parte aos processos de desenvolvimento do projeto da via, bem como as questões de segurança relativas às mesmas.

A tipologia da via bem como o tráfego previsto em projeto apresenta-se como um importante aspeto a ter em conta, já que irá condicionar a velocidade de projeto para a estrada e respetivo traçado em planta (raios das curvas e alinhamentos). O traçado em planta deve também ser “condicionado” pelo perfil longitudinal previsto, e os seus estudos feitos em concordância e simultaneamente, de forma a evitar zonas perigosas, tentando garantir sempre boas distâncias de visibilidade. As questões hidrológicas têm por vezes bastante impacto, já que a via em causa obriga inevitavelmente a recorrer à construção de obras de arte de modo a satisfazer caudais de ponta em condições de “tempestade”, o que pode condicionar em grande parte os custos da obra, podendo por vezes essas questões ser “contornadas” com passagens hidráulicas de diferentes tipologias.

As adversidades encontradas na construção de estradas em zonas montanhosas devem-se em grande parte às dificuldades de acessibilidade a estas zonas que na sua maior parte são remotas e afastadas dos grandes centros urbanos. O que acaba por acarretar elevados custos no que diz respeito à mão-de-obra e matéria prima, sendo a questão da segurança durante a construção uma problemática a ter em conta.

## **1.2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho tem como objetivo a análise dos vários aspetos relacionados com o estudo, projeto e construção das estradas situadas em terrenos montanhosos, respeitando todas as questões normativas existentes.

Para a tipologia destas estradas e para as velocidades praticadas, devem ser abordados vários aspetos relacionados com o estudo prévio, projeto, construção e manutenção da mesma. De modo a utilizar uma



base técnica segura foram utilizadas as Normas de Traçado [1] [2] existentes em Portugal, e analisadas as falhas correspondentes para a adaptação às estradas montanhosas.

Nesta análise, acerca dos aspetos que podem limitar a construção deste tipo de vias, foi dada relevância aos veículos pesados com probabilidade de circular na via, tendo em conta as limitações dos mesmos e tendo em conta o parque automóvel nacional dos mesmos.

Tratando as estradas em zonas montanhosas, as situações de maior risco para este tipo de veículos revelam-se essencialmente ao nível de circulação em curvas circulares de raio reduzido, e cruzamento com outros veículos, e nos traineis que apresentam grande inclinação longitudinal. Para estas situações serão feitos estudos de forma a calcular a viabilidade de circulação dos mesmos em várias situações adversas que ocorrem com bastante frequência neste tipo de zonas, sendo analisados outros aspetos como os que dizem respeito à estrutura da via como a drenagem dos caudais adjacentes e o tipo de curvas a usar em casos mais extremos.

### **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está subdividida em seis capítulos.

No presente capítulo é feita uma introdução acerca das zonas montanhosas a analisar, bem como algumas das adversidades a serem presenciadas.

No capítulo 2 é analisado o traçado em planta e perfil longitudinal, onde são analisadas as condicionantes normativas ao nível da velocidade base a adotar neste tipo de vias. No que diz respeito à planta é descrito o conceito de linha dos zeros e seus benefícios. No que diz respeito ao perfil longitudinal, são analisados os sentidos ascendentes e descendentes e realizados os estudos de tração e de travagem, respetivamente, bem como as possíveis soluções para ambos os casos.

Seguidamente, no 3º capítulo, serão analisados os diferentes elementos constituintes do perfil transversal desta tipologia de vias permitindo assim o transito das várias tipologias de veículos ao longo do traçado.

Seguidamente, no 4º capítulo, é analisada a coordenação entre a planta e perfil longitudinal e os aspetos ao nível da segurança e comodidade ao longo do traçado que podem ser benéficos para o trânsito.

Para o 5º capítulo é deixada referência a um tipo de curvas específicas para este tipo de traçado e alguns exemplos.

No 6º e último capítulo, são anotados todos alguns aspetos conclusivos acerca da dissertação.



## 2

# TRAÇADO EM PLANTA E EM PERFIL LONGITUDINAL

### 2.1. GENERALIDADES

Neste capítulo, pretende-se realizar uma abordagem de todos os aspetos e particularidades relativas ao traçado em planta e em perfil longitudinal das estradas de montanha. Sendo analisadas as imposições gerais e normativas, bem como algumas análises críticas às mesmas, devidamente justificadas.

Versando esta dissertação nas estradas de montanha, torna-se importante referir que certas limitações geográficas na zona, tornam a aplicabilidade de certas particularidades normalizadas de difícil aplicabilidade às mesmas, já que as Normas de Traçado [1] [2] foram desenvolvidas para estradas “ditas” normais e correntes. A partir destas particularidades, devem ser tidas em conta alternativas que consigam resolver os problemas particulares destas estradas.

### 2.2. ELEMENTOS BÁSICOS E VELOCIDADE BASE

No desenvolvimento do estudo dos projetos das estradas, devem ser estudadas várias opções de traçado, bem como analisados os seus prós e contras, de forma a tentar prestar os melhores serviços para os utentes das vias, de forma a garantir sempre a máxima segurança das mesmas. No caso em estudo, que visa as estradas de montanha, existem algumas particularidades, sendo de destacar a topografia local, tipologia e volume do tráfego (mesmo que se trate de uma estimativa, em casos da construção de raiz de uma nova via), devendo ser estes fatores prioritários numa situação de estudo prévio.

No que diz respeito à topografia destas zonas, têm tendência para conduzir a uma elevada sinuosidade do traçado, limitando em parte, as possíveis soluções de traçado. Nos dias de hoje, essas limitações poderão ser contornadas, com túneis ou viadutos, sendo que, as soluções deste tipo apresentam uma relação de custo-benefício bastante desfavorável e devem ser evitadas, ou pelo menos limitadas, de modo a conter os custos do projeto.

Tratando os volumes de tráfego, estes apresentam valores bem mais reduzidos comparando com os de um meio urbano; porém a sua importância não é menor. Torna-se necessário estabelecer uma previsão da evolução do tráfego de forma a precaver aumentos inesperados, devido a possíveis desenvolvimentos industriais e/ou urbanos na zona, que poderão ter graves impactos ao nível da circulação da via futuramente.

Examinando a tipologia do tráfego, é necessário estabelecer a possibilidade de circulação de veículos pesados em simultaneamente, já que muitas vezes, é esperado um tráfego elevado destes veículos existindo assim a necessidade de curvas de maior raio e/ou maior largura.

As reduzidas distâncias de visibilidade (de paragem, de decisão e de ultrapassagem) são outras particularidades inerentes dos traçados sinuosos, já que os segmentos retos usualmente apresentam uma extensão reduzida, tratando-se, assim, um importante fator a considerar no que diz respeito à segurança e eficiência da via. Estes valores, proporcionam, por vezes dificuldades e congestionamento na circulação em toda a via, podendo facilmente congestionar outras vias adjacentes. Porém, ter em conta uma alteração de tal situação não se apresenta como prioritária para a via, já que se tratam de inevitabilidades próprias destas estradas e do terreno montanhoso. A aplicação destas distâncias, exigiria inevitavelmente o uso frequente de obras excessivas (viadutos e/ou tuneis) ao longo da extensão da via, o que por seu lado tornaria cada km da via muito dispendioso.

Uma situação mais pertinente e que merece tratamento devido, são as condições climatéricas na zona e a probabilidade de ocorrência de gelo e/ou neve, já que se tratam de situações que condicionam as forças de tração e o consequente movimento do veículo; como consequência haverá que se limitar as inclinações das vias. Sendo de destacar, o caso em que os cursos de água naturais intercetam os traçados sem uma drenagem apropriada, proporcionando assim débeis situações de circulação, devido à água existente no pavimento e a consequente redução da aderência dos veículos, como é o exemplo da ER101 (localizada num corredor litoral na ilha da Madeira, com encostas bastante íngremes, entre Ponta do Sol e Madalena do Mar).



Fig.2.1 – E.R.101 [15]

## 2.3. PLANTA

### 2.3.1. GENERALIDADES

No que diz respeito à concepção de uma via, numa zona montanhosa, a sinuosidade é, como se viu, um fator comum em todas elas. Esta sinuosidade apresentada em planta deve-se em grande parte à topografia destas zonas, apresentando, usualmente, um elevado número de curvas de pequeno raio e de alinhamentos retos de pequena extensão. Estas características são frequentes neste tipo de estradas, já que para conter os custos da via, deve-se tentar conter ao máximo o volume de terraplenagens e escavações, daí que a diretriz da via deve tentar acompanhar a sinuosidade do terreno.

Neste capítulo das Norma de Traçado [1] [2] relativamente ao traçado em planta é dada elevada importância à sobrelevação. Este parâmetro de perfil transversal, bem como o caso particular dos lacetes e de tipologia de curvas será abordado adiante. Considera-se, no entanto, que a relevância dada pelo InIR [2] à sobrelevação é, aqui, demasiado forçada, para esta tipologia de vias, já que as velocidades praticadas tendem a ser mais baixas bem como a força centrífuga atuante sobre o veículo.

### 2.3.2. LINHA DOS ZEROS

Numa obra de engenharia civil, como é o caso das vias de comunicação, existe sempre uma procura pela solução menos dispendiosa e com menor alteração possível ao meio envolvente. No referido caso, de vias de comunicação em zonas montanhosas, grande parte dos custos imputáveis a estas obras devem-se ao movimento de terras e terraplanagens. Na procura da solução mais vantajosa criou-se um conceito de “linha dos zeros”, sendo possível coexistirem várias “linhas dos zeros” entre esses dois pontos.

A linha dos zeros é definida pelo conjunto de pontos resultantes da interseção com o terreno com as retas de nível normais ao eixo da estrada, tornando-se essencial conhecer a diretriz e a rasante para a definição da mesma. Porém e no que diz respeito à concepção destas, é definido um critério apropriado para a criação da linha dos zeros, de modo a auxiliar a escolha da diretriz, a linha dos zeros fictícia, assim pensada, corresponderá à uma linha de menor declive possível (constante) entre dois pontos consecutivos.

Na prática, a linha dos zeros, será definida por uma poligonal, definida com base na carta topográfica da zona representando uma solução do traçado economicamente viável, relativamente aos movimentos de terras, podendo ser definido como “traçado ideal”. Este traçado possui características bastante apreciadas, tal como, uma inclinação longitudinal do terreno constante (com a exceção de eventuais excessos entre curvas de nível, que não estão representados na carta topográfica) tornando-se um dos princípios a ter em conta aquando da sua elaboração. Partindo do fato de termos uma inclinação do terreno constante ao longo do traçado, é possível admitir que as cotas do projeto no eixo coincidem com as cotas do terreno na interseção com as curvas de nível, o que permite chegar aos benefícios nos custos de movimento de terras, já que seriam diminutos os movimentos de terras transversais e os perfis longitudinais. Apesar de os perfis transversais raramente admitirem uma configuração plana, admitem na sua maior parte uma sucessão de perfis mistos (aterro-escavação), que acabam por se compensar com o terreno escavado a passar para a zona de aterro. Claro que resta referir que a sinuosidade do terreno de igual declive é demasiado forte para que a diretriz possa rigorosamente acompanhar.

De seguida serão apresentados todos os procedimentos, que nos permitirão obter uma “linha dos zeros”, partindo da utilização da carta topográfica referente à zona que se pretende estudar.

- Inicialmente devem ser demarcados os pontos que se pretendem ligar, bem como, eventuais pontos de passagem obrigatória com cotas bem definidas, tais como obras de arte já construídas, ou que o reconhecimento topográfico indique como inevitáveis a construir.
- Após este passo é possível admitir a direção em que a estrada se irá desenvolver, sendo possível (dependendo dos pontos intermédios obrigatórios) dividir a estrada em troços, tornando-se mais fácil a definição da diretriz e inclinação desses, e comparando os valores da inclinação dos traineis com os limites, de modo a admitir a sua viabilidade.
- Escolhida a inclinação de cada um dos traineis, é possível calcular o comprimento entre duas curvas de nível consecutivas. Sendo este comprimento calculado pela seguinte expressão:

$$\Delta l = \frac{\Delta h}{i} \quad (2.1.)$$

Onde:

$\Delta l$  [m] – desenvolvimento entre curvas de nível consecutivas;

$\Delta h$  [m] – diferença de cotas entre curvas de nível;

$i$  – inclinação escolhida do trainel a tratar.

- A partir do ponto inicial do trainel, marcar a distância  $\Delta l$  em direção à próxima curva de nível, obtendo assim várias possibilidades para o próximo ponto.
- Escolha ponderada do próximo ponto na curva de nível seguinte, excluindo algumas as possibilidades que levam a que a poligonal intersete duas vezes seguidas a mesma curva de nível, mudanças de direção demasiado bruscas na direção e claro as soluções que se afastem muito da direção pretendida.
- Após as condicionantes previamente enumeradas, o mais possível é sobrar uma solução consecutiva de pontos que em planta irão conduzir à poligonal correspondente à “linha dos zeros”.
- Sendo a “linha dos zeros” constituída por segmentos retos mal articulados entre si, deve ser demarcado o traçado o mais próximo possível da “linha dos zeros” de forma a diminuir os movimentos de terras ao longo do traçado.

## 2.4. PERFIL LONGITUDINAL

### 2.4.1. GENERALIDADES

Em perfil longitudinal, habitualmente, neste tipo de estradas, é demais evidente a presença de traineis com forte inclinação, devido às condicionantes topográficas existentes. Esta característica, apresenta-se como fator de elevada relevância, e mais limitativa, no que diz respeito aos limites para a inclinação máxima dos traineis. As concordâncias entre traineis, apresentam-se como outra questão pertinente a tratar, sendo, porém, dependentes da tipologia da via a tratar, sendo que para o presente caso, não será dada importância, devido às reduzidas velocidades praticadas nesta tipologia de vias.

No que diz respeito às limitações, impostas ao perfil longitudinal, pelas Normas de traçado, [1] [2], mais especificamente, relacionados com os limites para a inclinação máxima dos traineis.

Estes limites, como é de esperar, variam consoante as características do meio em que se pretenderá desenvolver a estrada. Em casos que exista a probabilidade de ocorrência de fenómenos como gelo e/ou neve, a inclinação longitudinal dos traineis deverá ser no máximo 8% e, nos casos remanescentes, a inclinação máxima será de 10%. Sendo os limites impostos pelas normas francesas [12], para as situações de “estradas de terreno difícil”, exatamente os mesmos referidos anteriormente nas Normas de Traçado, [1] [2], para estradas de montanha.

Existem também algumas situações que devem ser ponderadas ao longo do traçado, tais como: os traineis com inclinação superior a 7% não devem ultrapassar metade do comprimento da via; em caso de lacetes (a aprofundar posteriormente) a inclinação máxima no intradorso deve ser no máximo de 6%, sendo que em locais propícios à ocorrência de gelo e/ou neve, esse limite deve descer para 5%.

As variações das inclinações entre traineis devem ser limitadas se possível, por questões de comodidade e segurança, (de modo a garantir boas distâncias de visibilidade e segurança) sendo, portanto, uma questão a ter em conta durante os vários estudos de traçado.

Perante os limites impostos à inclinação máxima dos traineis, deve ser feito ainda assim, um conjunto de cálculos de modo a verificar a aplicabilidade dos mesmos, segundo as condições impostas em situação limite ascendente e descendente.

#### 2.4.2. VEÍCULOS LIGEIROS VS PESADOS EM ESTRADAS DE MONTANHA

Antes de serem efetuados os cálculos, tem de ser feita a escolha de um veículo tipo para o efeito, existindo, portanto, a questão entre usar veículos ligeiros, mais leves e menos potentes, ou pesados, muito mais pesados e mais potentes, para a mesma situação.

Devido aos interesses múltiplos em zonas montanhosas, quer a nível tecnológico, social, económico, turístico, ... sendo que por exemplo a nível tecnológico, existem situações das dificuldades de transporte de elementos essenciais para a construção/manutenção de parques eólicos e centros de observação em zonas remotas, por exemplo. Sendo que nestes casos se recorrem a transportes especiais com possibilidade de encerramento da via temporariamente.

Exemplos de tais dificuldades de transporte, no que diz respeito aos centros de observação em zonas remotas, é de destacar o Observatório Paranal, localizado no deserto do Atacama, no Chile, em plena zona da cordilheira dos Andes (ver Fig.2.2). Neste centro de observação encontram-se alguns dos maiores telescópios do mundo, como é o exemplo do Very Large Telescope (VLT), constituído por 4 espelhos de 8,2 metros de diâmetro, incluído na cordilheira dos Andes, o que condiciona em grande parte os transportes dos constituintes dos mesmo em segurança.



Fig.2.2 – Exemplo de transporte especial em estrada de montanha no deserto do Atacama (Chile) [16]

Grande parte dessas dificuldades de transporte devem-se em parte à qualidade das vias ou inexistência das mesmas, nestas zonas bastante remotas (estradas de terra e bastante sinuosas), o peso e as dimensões dos espelhos, que constituem o telescópio, que se tratam de peças únicas e extremamente sensíveis; sendo muitas vezes construídas vias essencialmente para estes transportes, dotando as mesmas de certas características.

No que se refere à evolução da construção dos parques eólicos, é de referir que ao nível da capacidade eólica por país, em GW, e em participação global (dados de 2012) o mercado é liderado pela China (26,8%) e E.U.A. (21,2%) [17]. No que diz respeito ao mercado europeu a liderança é da Alemanha com 11,1% da produção mundial e Espanha com 8,1%. Atualmente, o crescimento da produção de energia elétrica, através da aptidão eólica é já uma realidade mundial, como se pode observar na Fig. 2.3., onde é possível de observar um potencial de crescimento bastante grande. Sendo assim este tipo de transportes uma questão a analisar e a aprofundar, já que apresenta um elevado potencial de crescimento deste tipo de estruturas.





Fig.2.3 - Evolução do valor de produção de energia eólica nos últimos 20 anos [17]

A construção de parques eólicos é uma questão atual, com um aumento bastante grande e com tendência de crescimento no futuro, com um mercado bastante competitivo. Apesar de não serem construídos apenas em zonas montanhosas, os parques eólicos, estão bastante presentes em paisagens montanhosas, e o transporte dos constituintes das turbinas eólicas, apesar das várias hipóteses possíveis de transporte, são tarefas de elevada complexidade, destacando-se secções da torre com peças cilíndricas de 4 a 5 metros de diâmetro e 25 a 30 metros de comprimento, enquanto as pás alcançam medidas entre 30 a 60 metros de comprimento.



Fig.2.4 - Transporte especial de elemento de torre eólica

Sendo, portanto, a escolha dos veículos pesados, para uma análise dos limites dos perfis longitudinais, uma situação justificável perante tais exemplos de transportes, importantes para o desenvolvimento, e suas difíceis condições nestas zonas.

Usualmente as estradas de montanha, devido à proeminência e as características do relevo, tornam transportes deste tipo de elementos tarefas árduas onde, por vezes, acaba por ser necessário o movimento

e destaque de diversos meios para o mesmo, bem como possíveis interdições do trânsito para tais transportes.

#### 2.4.3. VEÍCULO ESCOLHIDO

Segundo os dados fornecidos pela ACAP [11] relativamente a todo o parque automóvel de pesados de mercadorias existentes em Portugal, à data de 31/12/2010, têm em média 12,3 anos de idade, perfazendo um total de aproximadamente 132000 veículos.

Quanto ao parque automóvel de veículos pesados de mercadorias, referido anteriormente, é dominado por 8 marcas que totalizam 80% do conjunto dos veículos pesados de mercadorias, que são:

Volvo – 17.5%

Scania – 11.4%

Mercedes-Benz – 11.4%

Renault – 11.1%

Mitsubishi – 9.2%

M A N – 6.7%

Toyota – 6.1%

Iveco – 6.0%

Com a vista a selecionar um veículo, que traduza uma situação limite e realista, foi escolhido um modelo da marca Volvo, que se apresenta como a marca mais presente no parque automóvel nacional. Após esta escolha foi feita uma pesquisa dos modelos com 10 a 15 anos, que se possam apropriar à situação em estudo. Foi então escolhido um modelo com as características mais adequadas para transportes de maior carga, no caso um Volvo FM 6x4 [18] de 2001, da primeira geração (produzido de 1998 a 2001). Quanto ao motor escolhido, foi feita uma ponderação perante a tarefa exigida, e escolhido um motor de maior cilindrada (12,0 litros), porém com uma potência inferior ao máximo disponível na gama (420 cavalos) sendo escolhido o motor D12C340, de 340 cavalos de potência máxima.

Quadro 2.1 – Características mecânicas e físicas do veículo escolhido [18] [19]

Parâmetros			Valor	Unidade	
Peso bruto			100	Ton	
Peso aderente			52	Ton	
Secção frontal do veículo			7,80	m²	
Comprimento			7,40	metros	
Distância entre eixos			3,40	metros	
Diâmetro	rodados traseiras		1143	mm	
	rodados frontais		1143	mm	
Binário máximo	[N.m]	1700	às	1800	Rpm
Potência máxima	[kW]	250	às	1680	Rpm
Transmissão		SR1700	12+2		
Mudança		baixa	alta		
Relações de transmissão na caixa	crawl	0,059952038	0,0747943		
	1	0,08984726	0,1121076		
	2	0,139664804	0,174216		
	3	0,213675214	0,2666667		
	4	0,336700337	0,4201681		
	5	0,523560209	0,6329114		
	6	0,8	1		
Relações de transmissão no diferencial		0,406338887			
Rendimento da transmissão	0,90	0,93	0,95		

Para obter tais dados, foram utilizadas várias fichas técnicas da Volvo, no que diz respeito ao motor e transmissão.

Uma vez que a relação da transmissão no diferencial foi obtida, a partir do quociente entre o número de dentes da coroa e número de dentes no pinhão, localizados na transmissão [19].

Já o binário máximo, foi obtido a partir de uma outra ficha técnica de outro veículo, mais recente da mesma marca, onde o binário máximo obtido a partir do gráfico é arbitrado para um valor das rotações máximas reproduzidas pelo veículo em causa [20].

#### 2.4.4. SENTIDO ASCENDENTE

De seguida, serão apresentados os procedimentos de cálculo, a partir do qual serão determinadas as inclinações máximas que o veículo escolhido conseguirá vencer, tendo em conta diferentes situações.

Inicialmente, é importante definir as várias velocidades a considerar, para as estradas de montanha. Sendo que nestas estradas, os veículos, principalmente os pesados, praticam velocidades reduzidas para este estudo foram consideradas as seguintes velocidades: 5, 10, 15, 20, 30. Note-se que em subidas íngremes e com cargas elevadas, maiores velocidades são impraticáveis para este tipo de veículos.

No presente caso, onde é pretendido estudar o declive máximo que o veículo é capaz de vencer, é necessário que previamente se efetue o cálculo do esforço máximo de tração a desenvolver nas rodas da viatura, e para se atingir tal situação, são as desmultiplicações mais reduzidas, que forneceram maior esforço.

$$\phi = \frac{\Gamma \times \rho}{r \times d} \quad (2.2.)$$

$$d = d' \times d'' \quad (2.3.)$$

Onde:

$\phi$  [N] – Esforço de tração a desenvolver nas rodas motorizes da viatura;

$\Gamma$  [N.m] – Binário máximo a reproduzir pelo veículo;

$\rho$  [%] – Rendimento da transmissão;

$r$  [m] – Raio das rodas;

$d$  [-] – Razão de desmultiplicação;

$d'$  [-] – Razão de desmultiplicação na caixa;

$d''$  [-] – Razão de desmultiplicação no diferencial.

No presente cálculo efetuado, considerou-se o rendimento da transmissão de 0,90. Existindo uma amplitude de valores para o presente parâmetro entre 0,90 e 0,95, é razoável a utilização do valor de 0,90, já que para razões de desmultiplicações na caixa mais baixas, o rendimento da transmissão tenderá para os valores mais baixos.

Quadro 2.2 – Resumo de cálculo do esforço de tração do veículo de ocase de estudo

Mudança		d'	d''	d	$\phi$ [N.m]
crawl	alta	0,05995	0,406339	0,024361	109896
	baixa	0,07479		0,030392	88088
1	alta	0,08985		0,036508	73330
	baixa	0,11211		0,045554	58769
2	alta	0,13966		0,056751	47174
	baixa	0,17422		0,070791	37818

Para obter os valores da inclinação máxima, deve ser garantida, a situação limite, que o esforço de tração será igual ao somatório das forças resistentes que se opõem à marcha. Sendo esta a situação, que verificará o esforço máximo do motor perante a rampa existente.

$$\phi = P \times (0,11 \times j \times + 0,01 \times i + w_m) + w_a \quad (2.4.)$$

$$w_A = 0.049 \times \mu \times S_f \times V^2 \quad (2.5.)$$

Onde:

$\phi$  [N] – Esforço de tração a desenvolver nas rodas motorizes da viatura;

P [N] – Peso total da viatura;

j [m/s<sup>2</sup>] – Aceleração linear;

i [%] – Inclinação da via;

$w_m$  [N/N] – Resistência ao movimento por unidade de peso da viatura;

$w_a$  [N] – Resistência do ar;

$\mu$  – Coeficiente de forma do veículo;

$S_f$  [m<sup>2</sup>] – Secção frontal do veículo;

V [km/h] – Velocidade relativa entre o veículo e o ar.

No que diz respeito à resistência do ar,  $w_A$ , e tendo em conta o intervalo de velocidades analisadas, reduzidas, não terá um valor significativo. Tem, porém, um efeito oposto à progressão do veículo, pelo que não estaríamos do lado da segurança se fosse desprezada.

Quanto à aceleração linear,  $j$ , é considerada nula, visto que os cálculos são efetuados admitindo a circulação dos veículos a velocidades constantes.

Um parâmetro com mais importância e que deve ser analisado com maior ênfase, deve ser a resistência ao movimento por unidade de peso da viatura,  $w_m$ , mais precisamente no que diz respeito à sua quantificação, que irá ser representativa da força necessária para vencer a deformação dos pneumáticos, tornando-se, teoricamente mais difícil de ser calculada. Levando a que os resultados resultem de dados experimentais, sendo usual usar os valores de 0,03 N/N, no caso de veículos pesados, e 0,02 N/N no caso de ligeiros. Tratando o estudo valores de velocidade bastante reduzidos, no máximo 50 km/h, tornando-se aceitável a utilização do valor de 0,03 N/N para todos os cálculos efetuados posteriormente.

Quadro 2.3 - Inclinações passíveis de serem vencidas pelo veículo, com Crawl engrenada

	d'	d	V	r	Wa	$\phi$	$w_m$	i
Mudança Baixa	0,059952038	0,024360911	5	0,5715	8,6	109896	0,03	8,2
	0,059952038	0,024360911	10		34,4	109896		8,2
Mudança Alta	0,074794316	0,030391922	5		8,6	88088		6,0
	0,074794316	0,030391922	10		34,4	88088		6,0

Quadro 2.4 - Inclinações passíveis de serem vencidas pelo veículo, com a 1ª velocidade engrenada

	d'	d	V	r	Wa	$\phi$	$w_m$	i
Mudança Baixa	0,08984726	0,036508535	10	0,5715	34	73330	0,03	4,5
	0,08984726	0,036508535	15		77	73330		4,5
Mudança Alta	0,139664804	0,056751397	10		34	47174		1,8
	0,139664804	0,056751397	15		77	47174		1,8

Quadro 2.5 - Inclinações passíveis de serem vencidas pelo veículo, com a 2ª velocidade engrenada

	d'	D	V	r	wa	$\phi$	$w_m$	i
Mudança Baixa	0,213675214	0,086824786	15	0,5715	77	30834	0,03	0,1
	0,213675214	0,086824786	20		138	30834		0,1
	0,213675214	0,086824786	30		310	30834		0,1
Mudança Alta	0,336700337	0,136814815	15		77	19568		-1,0
	0,336700337	0,136814815	20		138	19568		-1,0
	0,336700337	0,136814815	30		310	19568		-1,0

É possível aferir, que o valor das velocidades praticadas pelo veículo nas diferentes desmultiplicações, não tem valor expressivo na inclinação a vencer. Sendo por demais evidente, que o fator significativo nos presentes cálculos para a inclinação máxima a vencer pelo veículo, é a razão de desmultiplicação do veículo,  $d$ , que para um valor cada vez menor da mesma representa um aumento na inclinação.

Perante os seguintes resultados, podemos concluir, como esperado, que o referido veículo apresentará melhor performance na desmultiplicação de caixa com valor mais baixo possível, neste caso Crawl Baixa, como expectável, na qual é possível vencer um trainel de inclinação de 8,2 %. Sendo nas desmultiplicações de caixa seguintes, Crawl Alta o valor da inclinação capaz de vencer pelo veículo é de 6,00 %, em 1ª Baixa é de 4,50 % e em 1ª Alta de 1,80 %, sendo que os valores das seguintes desmultiplicações já não apresentam valores plausíveis.

Um aspeto que não foi considerado no cálculo prévio, e que apresenta elevada relevância para a questão da rampa máxima a vencer pelo veículo, são as questões climatéricas e a probabilidade da ocorrência de gelo e/ou neve na estrada em questão.

Sendo, portanto, importante avaliar se o valor do esforço de tração a reproduzir nas rodas motrizes consegue superar o esforço aderente, situação esta que conduz a uma perda de aderência por parte do veículo e respetiva derrapagem.

$$\varphi = P \times (0,11 \times j \times + 0,01 \times i + w_m) + w_a \leq P_a \times f_l \quad (2.6.)$$

Onde:

$P_a$  [N] – Peso do veículo descarregado sobre as rodas motrizes;

$f_l$  – Coeficiente de aderência longitudinal;

Sendo que as restantes variáveis já foram anteriormente definidas.

A situação onde o esforço de tração é máximo, como já foi previamente referenciado, é na desmultiplicação mais baixa possível e partindo da posição de repouso. Perante tal situação, é razoável considerar que aceleração,  $j$ , é nula, bem como a resistência ao ar,  $w_a$ .

$$P \times (0,01 \times i + w_m) \leq P_a \times f_l \quad (2.7.)$$

$$i \leq \left( \frac{P_a \times f_l}{P} - w_m \right) / 0,01 \quad (2.8.)$$

No que diz respeito ao coeficiente de aderência longitudinal,  $f_l$ , foram consideradas as situações de piso molhado com um coeficiente de 0,3 e piso com gelo e/ou neve com uma redução acentuada para 0,1, tratando-se de valores usados tradicionalmente e que são reproduzidas em Cocquand e Escario, obras clássicas onde são abordados estes temas.

Quadro 2.6 – Inclinações passíveis de serem vencidas com a variância do coeficiente de aderência longitudinal

$f_l$	$P_a$	$P$	$w_m$	$i$
0,05	509600	980000	0,03	-0,4
0,1				2,2
0,15				4,8
0,2				7,4
0,25				10
0,3				12,6

Sendo de destacar a possibilidade de vencer um declive de 12,6% para situações de piso molhado, sendo que na realidade e em caso prático a subida de um trainel com tal inclinação não se apresenta como viável já que elementos como a caixa de velocidade bem como o motor do veículo ao reproduzir continuamente tal esforço, dependendo das condições mecânicas do veículo, acabariam por apresentar desgaste e uma consequente diminuição do esforço pelas rodas motrizes.

#### 2.4.4.1 Caso Particular

No entanto, a questão do vento que não tem referência limitativa, nas normas supracitadas, mas que em combinação com condições de gelo e/ou neve torna as condições de segurança mais reduzidas. Como é referido em Winter problems on mountain passes [8], a combinação de ventos fortes com condições de neve aumentam a probabilidade de acumulação de neve nas vias, com o vento a movimentar neve para a via quando esta já está coberta de neve ou porque existem condições adversas de vento durante os nevões, levando a possíveis bloqueios da estrada e redução da visibilidade; na combinação de vento com condições de gelo torna a via bastante escorregadia proporcionando condições para acidentes; por fim em condições de ventos muito fortes existe a possibilidade de os veículos serem arrastados para fora das vias. Tornando-se um árduo trabalho a manutenção das vias em serviço em zonas com tais condições devido às condicionantes atmosféricas anteriormente referidas.

Quanto aos custos envolvidos, não se limitam aos custos de operação, devem ser também contabilizados, os custos relativos a atrasos e possíveis encerramentos da via, bem como aumento do risco de acidentes e o uso de equipamento específico para viajar em tais condições (como pneus de neve ou correntes). Após alguns estudos, em conjunto com os utilizadores, conclui-se que os custos mais importantes para os utilizadores são os tempos de atraso e de encerramento da via provocados por condições atmosféricas adversas, sendo que estas condições se podem prolongar por algum tempo, levando a que os condutores não se importem de pagar por alternativas mais viáveis evitando tais imprevistos.

A construção de tuneis, de modo a evitar o terreno acidentado e as condições meteorológicas adversas, é uma das soluções a ter em conta, porém muito mais dispendiosa, do que por exemplo, alterar a configuração da estrada, ao nível da largura da via, raio das curvas, ... sendo ambas as soluções abordadas mais á frente.

#### 2.4.4.2. Soluções

O valor da inclinação capaz de ser vencida pelo veículo para estradas molhadas, tem como significado, que perante o peso do veículo assente nas rodas motrizes, o respetivo coeficiente de aderência e o valor



máximo que a transmissão consegue transmitir às rodas motrizes, o veículo consegue vencer um trainel de 8,2 % (valor que máximo que a transmissão consegue vencer).

Já perante uma situação de piso com gelo e/ou neve, inclinações desta ordem são incomportáveis, sendo necessário tomar medidas excepcionais, como por exemplo: reduzir na carga do veículo ou alteração dos pneus nos rodados motorizes (pneus de neve ou adição de correntes), medidas estas que permitirão aumentar o coeficiente de aderência longitudinal e o respetivo trainel a vencer.

Estas medidas podem até passar por paragens mais ou menos demoradas ou a evitar a circulação de certos veículos em épocas do ano mais sujeitas ao gelo na estrada, ou, em ultimo caso a possível interdição total da estrada.

Sendo assim, perante estes resultados, é possível afirmar que as limitações impostas aos traineis deve ser um fator a ter em conta, devendo também ser ponderada consoante a localização da via e os fenómenos atmosféricos ocorrentes ao longo das mesmas, sendo que os traineis com inclinações superiores a 10% devem sempre ser evitados.

A extensão de traineis com inclinações desta ordem, podem, também, ser considerados como problemáticas, sendo que nos casos em que se torna inevitável tais opções, devem ser estudadas diferentes possibilidades de locais de repouso para veículos em sobreaquecimento e com problemas mecânicos, já que nestas condições extremas de circulação que as falhas mecânicas se proporcionarão mais frequentemente. Os valores da extensão crítica dos traineis, referidos nas Normas de Traçado [1] [2], são de 120 metros para traineis de 8%, 150 metros para 7%, 180 metros de 6%, ... sendo que para extensões superiores deve ser considerada uma via adicional para os veículos lentos.

#### 2.4.5. SENTIDO DESCENDENTE

Previamente, foi analisado o perfil longitudinal, de uma estrada de montanha, e as inclinações máximas para os traineis constituintes da via no sentido ascendente. Torna-se, porém, razoável e pertinente efetuar uma análise no sentido descendente.

Neste caso, tratando o sentido da descida da montanha, é de referir que as distâncias de segurança de paragem dos veículos podem condicionar em grande parte a inclinação e comprimento dos traineis, bem como os respetivos sistemas de segurança a adicionar em casos mais pertinentes, como são os casos das escapatórias para veículos pesados.

É usual ocorrerem nestas zonas, fenómenos de obstrução de vias, sem avisos prévios, como a passagem de animais de grande porte ou queda de árvores ou derrocadas, tais situações levam a travagens bruscas e repentinas.

Um caso pertinente, e que deve ter preponderância, deve ser a extensão dos declives e o seu traçado. Nesses casos, em que o traçado apresenta elevada sinuosidade e elevada quantidade de curvas de reduzido raio, principalmente no que a estradas nacionais diz respeito, bem como uma extensão considerável, serão necessárias maior número de travagens, que potenciará a probabilidade de falência do sistema de travagem (em caso de sobreaquecimento dos mesmos, por exemplo).

É de notar que é nas zonas de declive, comparativamente às zonas de rampa, que se apresentam como mais perigosas para os condutores, devido aos problemas de imobilização de alguns veículos. Segundo as Normas de Traçado, [1] [2], é nestas zonas que se verificam 65% dos acidentes em traineis com mais de 3 Km (e inclinações entre os 4,5% e 7,5%).

A distância de segurança de paragem dos veículos é constituída pela distância de reação e distância de travagem; sendo ambas as parcelas influenciadas pelas demais condições existentes em montanha.

#### 2.4.5.1. Distância de Travagem

Esta distância, tem início, desde o momento em que o condutor exerce pressão sobre o pedal do travão, que é amplificada e transmitida aos travões, até o pedal ser largado, ou seja, quando os travões deixam de atuar sobre o movimento da viatura.

Os seguintes cálculos, pressupõem que as condições e respetiva eficácia do sistema de travagem do veículo, bem como as condições de aderência (adesão do piso da borracha dos pneus ao piso) são constantes ao longo da superfície. Com o sistema de travagem a atuar normalmente, é possível simplificar o funcionamento do mesmo, como um mecanismo que amplifica a pressão exercida sobre o pedal do travão para os travões do veículo, onde é criada uma resistência sobre as superfícies de contato dos mesmos e criado o respetivo atrito sobre o movimento do veículo.

Para o cálculo da distância de travagem, é pressuposto um equilíbrio entre a variação da energia, durante a distância de travagem,  $\Delta E_c$ , e a energia dissipada pelas forças de atrito,  $E_d$ , ou seja, a força exercida pelos travões.

$$\Delta E_c = E_d \quad (2.9.)$$

$$\frac{1}{2} \times m \times v_i^2 - \frac{1}{2} \times m \times v_f^2 = (w_m + \mu - i \times 0,01) \times m \times g \times d_t \quad (2.10.)$$

$$d_t = \frac{v_i^2 - v_f^2}{2 \times (w_m - \mu - i \times 0,01) \times g} \quad (2.11.)$$

Onde:

$d_t$  [m] – Distância de travagem;

$v_i$  [m/s] – Velocidade antes da travagem começar;

$v_f$  [m/s] – Velocidade no fim da travagem;

$\mu$  [-] – Coeficiente de aderência longitudinal;

$w_m$  [-] – Resistência específica ao movimento, devendo ser considerados valores de 0,02 ou 0,03 (sendo adotado o valor de 0,025);

$i$  [%] - Inclinação da via;

$g$  – Aceleração da gravidade ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Para os casos em que a velocidade final é 0 km/h e o veículo fica imobilizado, apenas a velocidade inicial entra no cálculo da distância de travagem.

$$d_t = \frac{v_i^2}{2 \times (w_m + \mu - i) \times g} \quad (2.12.)$$

Onde:

$d_t$  [m] – Distância de travagem;

$v_i$  [m/s] – Velocidade antes da travagem começar;

$\mu$  [-] – Coeficiente de aderência longitudinal;

$w_m$  [-] – Resistência específica ao movimento, devendo ser considerados valores de 0,02 ou 0,03 (sendo adotado o valor de 0,025);

$i$  [%] - Inclinação da via;

$g$  – Aceleração da gravidade ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Sendo que para valores da velocidade inicial em km/h, a expressão da distância de travagem é dada por.

$$d_t = \frac{v_i^2}{254 \times (w_m + \mu - i) \times g} \quad (2.13.)$$

Onde:

$d_t$  [m] – Distância de travagem;

$v_i$  [km/h] – Velocidade antes da travagem começar;

$\mu$  [-] – Coeficiente de aderência longitudinal;

$w_m$  [-] – Resistência específica ao movimento, devendo ser considerados valores de 0,02 ou 0,03 (sendo adotado o valor de 0,025);

$i$  [%] - Inclinação da via;

$g$  – Aceleração da gravidade ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Onde é possível desde logo analisar que, para o cálculo da distância de travagem, a velocidade do veículo antes das forças de atrito começarem a atuar sobre o mesmo, assumem uma importante relevância para o mesmo, como os resultados apresentados na seguinte tabela podem mostrar.

Para o seguinte cálculo, optamos por escolher algumas velocidades iniciais entre 50 Km/h e 80 Km/h, já que estamos a tratar de um declive e serão consideradas tais velocidades admitindo mesmo um exagero das mesmas para casos excecionais (para o caso de uma distração do condutor, por exemplo). Para os casos de velocidades finais de travagem, é considerada a situação de imobilização completa do veículo, bem como outras velocidades superiores, já que a imobilização do veículo nem sempre é necessária após uma travagem.

Foram selecionadas várias inclinações para a via, sendo que as inclinações escolhidas vão de encontro ao caso limite do caso da tração, 8,2%, mesmo que superior ao limite de 8,0% predefinido nas Normas de Traçado, [1] [2], (já que em alguns casos esses limites podem ser ultrapassados) bem como inclinações inferiores a esta referida.

No que diz respeito ao coeficiente de aderência longitudinal, optou-se por 3 diferentes casos, para as situações de piso seco, molhado e com gelo e/ou neve, representados nas seguintes tabelas.

Quadro 2.7 - Distância de travagem para piso com neve e/ou gelo ( $\mu=0,1$ )

vi		vf		dt: i=8,2	dt: i=8,0	dt: i=7,5	dt: i=7,0
km/h	m/s	km/h	m/s	m	m	m	m
80	22,22	0	0,00	585	559	503	458
		10	2,78	576	551	496	450
		20	5,56	549	524	472	429
		30	8,33	503	481	433	393
70	19,44	0	0,00	448	428	385	350
		10	2,78	439	419	378	343
		20	5,56	412	393	354	322
		30	8,33	366	350	315	286
60	16,67	0	0,00	329	315	283	257
		10	2,78	320	306	275	250
		20	5,56	293	280	252	229
		30	8,33	247	236	212	193
50	13,89	0	0,00	229	218	197	179
		10	2,78	220	210	189	172
		20	5,56	192	184	165	150
		30	8,33	146	140	126	114

Quadro 2.8 - Distância de travagem para piso molhado ( $\mu = 0,3$ )

vi		vf		dt: i=8,2	dt: i=8,0	dt: i=7,5	dt: i=7,0
km/h	m/s	km/h	m/s	m	m	m	m
80	22,22	0	0,00	104	103	101	99
		10	2,78	102	101	99	97
		20	5,56	97	96	94	93
		30	8,33	89	88	87	85
70	19,44	0	0,00	79	79	77	76
		10	2,78	78	77	76	74
		20	5,56	73	72	71	69
		30	8,33	65	64	63	62
60	16,67	0	0,00	58	58	57	56
		10	2,78	57	56	55	54
		20	5,56	52	51	50	49
		30	8,33	44	43	42	42
50	13,89	0	0,00	40	40	39	39
		10	2,78	39	39	38	37
		20	5,56	34	34	33	32
		30	8,33	26	26	25	25

Quadro 2.9 - Distância de travagem para piso seco ( $\mu=0,8$ )

vi		vf		dt: i=8,2	dt: i=8,0	dt: i=7,5	dt: i=7,0
km/h	m/s	km/h	m/s	m	m	m	m
80	22,22	0	0,00	34	34	34	33
		10	2,78	33	33	33	33
		20	5,56	32	32	31	31
		30	8,33	29	29	29	29
70	19,44	0	0,00	26	26	26	26
		10	2,78	25	25	25	25
		20	5,56	24	24	24	23
		30	8,33	21	21	21	21
60	16,67	0	0,00	19	19	19	19
		10	2,78	19	18	18	18
		20	5,56	17	17	17	17
		30	8,33	14	14	14	14
50	13,89	0	0,00	13	13	13	13
		10	2,78	13	13	13	13
		20	5,56	11	11	11	11
		30	8,33	8	8	8	8

Perante os resultados apresentados é possível afirmar que o fator inclinação e variação da velocidade final de paragem, apenas se assumem como fatores de elevada importância para os casos em que o piso se encontra com gelo e/ou neve, em que estes se apresentam com variações na ordem das centenas de metros entre 8,2% e 7,0% e velocidade final entre os 0 e 30 km/h. Para os casos de piso molhado e seco, as variações de inclinação dos traineis, apenas afetam a distância de frenagem em poucos metros.

Sendo importante de referir que em grande parte destes casos, estas inclinações não são constantes ao longo de todo o troço, sendo que estes valores podem ser usados numa média ao longo de um troço da montanha, por exemplo.

Para o caso de uma inclinação da descida num trainel com média de 7,0 % é possível afirmar que as diferenças da distância de travagem entre pisos com  $\mu=0,1$  e com  $\mu=0,3$ , existe uma diferença de valores na ordem das 4,5 vezes, e para o caso entre com  $\mu=0,3$  e com  $\mu=0,8$  essa diferença é da ordem das 3 vezes.

Convém admitir que em caso da ocorrência de gelo e/ou neve é necessária um nível de atenção maior por parte dos condutores, para não circular a velocidades elevadas, já que em tal situação, as distâncias de travagem atingem valores exageradamente altos, sendo que a paragem do veículo em segurança poderá ser comprometida.

#### 2.4.5.2. Soluções

Para o caso, em que a probabilidade de ocorrência de gelo e/ou neve é elevada, recorre-se muitas vezes a limpa-neves, sendo estes em Portugal Continental de eficácia reduzida, perante os nevões ocorrentes em muitas serras, uma outra solução possível para a ocorrência de gelo é distribuir sal pela estrada de forma a dissolver a massa gelada, ou a colocação de correntes nos rodados dos veículos (sendo que esta solução é de difícil aplicação para os veículos pesados).

No caso de existir um tráfego elevado de veículos pesados nestas vias, e no caso de transportarem elevadas cargas, a tarefa para a imobilização dos veículos poderá ser mais árdua. Para estes veículos, foram desenvolvidos vários tipos de escapatória para diferentes casos, sendo que todas têm como principal objetivo de dissipar a energia cinética de qualquer veículo que tenha atingido uma situação de descontrolo ao nível da travagem. Esta dissipação da energia cinética do veículo é obtida em grande parte ao atrito existente em cada uma das superfícies das escapatórias, podendo ser constituídas por agregado britado, gravilha, areia e gravilha fina. Apesar de toda e qualquer escapatória ter como principal função a dissipação da energia cinética de qualquer veículo, ainda assim existem vários tipos de escapatória, variando conforme as necessidades e limitações do terreno.

Segundo as Normas de Traçado, [1] [2], estas escapatórias devem estar presentes em situações de declives igual ou superior a 6% e extensão igual ou superior a 2 km. As escapatórias devem ser projetadas para velocidade de 120 km/h e devem cumprir os seguintes pressupostos:

- Possuir extensão necessária para dissipar a energia cinética de qualquer veículo;
- A superfície da escapatória deve ser constituída por material limpo, de difícil compactação e com elevado coeficiente de resistência ao rolamento;
- Deve-se assegurar a drenagem das escapatórias a fim de evitar a formação de gelo;
- A espessura da camada, tem como medida aconselhável 0,60 metros, nunca inferior a 0,30 metros, devendo variar essa espessura em 0,10 metros até à espessura definitiva numa extensão de 30 metros;
- É exigida uma via de serviço pavimentada, paralela à escapatória com material britado, de modo a facilitar o serviço de reboque se necessário para os veículos acidentados, com largura aconselhável de 3,0 metros.

Porém a aplicabilidade das mesmas em estradas montanhosas não é comum, já que as velocidades praticadas não apresentam valores consideráveis, e as áreas adjacentes às vias não são de fácil exploração, bem como os elevados custos de exploração. Mesmo assim, torna-se pertinente o desenvolvimento de um sistema que permita a dissipação da energia cinética dos veículos baseado nas premissas das escapatórias, porém com um desenvolvimento adaptado para a velocidade de tráfego em causa, já que com a sua introdução seria de verificar um incremento na segurança de circulação da via.

Sendo que, se torna mais fácil, interditar a circulação automóvel, dependendo da agressividade e duração dos fenómenos atmosféricos ocorrentes e previstos para a zona. Sendo preferível, optar pelo encerramento da via durante os meses de Inverno e garantir a prevenção durante os restantes meses do ano para o caso de existir a probabilidade da ocorrência de gelo e/ou neve, mesmo em meses de Verão.

# 3

## PERFIL TRANSVERSAL

### 3.1. GENERALIDADES

O presente capítulo terá como objetivo tratar todas as situações de relevância referentes ao perfil transversal quando abordamos estradas de montanha. Serão considerados os temas de maior relevância presentes nas Normas de Traçado, [1] [2], e que tenham maior aplicabilidade aos traçados montanhosos, como também outras situações com pertinência para as mesmas.

Num perfil transversal, é necessário ter em conta o conjunto de elementos, como a faixa de rodagem, as bermas, as valetas e os taludes, não sendo considerado o separador central já que o mesmo não existe em típicas estradas de montanha. Os vários elementos que constituem a via, são dependentes de vários fatores adjacentes à mesma, apresentando importantes e diferentes funcionalidades, de modo a permitir um maior conforto e segurança para os utentes da via.

As questões relacionadas com a capacidade da via, serão abordadas admitindo um tráfego reduzido, porém serão consideradas passagens de veículos pesados de diferentes dimensões; para além de mais, o presente caso tratando de estradas de montanha que apresentam elevada sinuosidade, a dificuldade de circulação de veículos com dimensões elevadas e o cruzamento entre os mesmos torna-se mais acentuada em casos de circulação em curvas de raio reduzido, como será exemplificado mais à frente. Anteriormente foi considerada a carga máxima possível de transporte para o cálculo do perfil longitudinal de maior inclinação, admitindo a carga dos veículos como limitação; para o presente caso será considerada a situação de transportes de elevadas dimensões e respetivas condições do perfil transversal que permitam tais transportes.

Outra das temáticas a abordar será segurança da via para os vários tipos de utentes da via e os vários elementos que permitam otimizar a mesma, e as possíveis soluções admissíveis.

A economia relativa à intervenção realizada deve ser um fator a ter em conta, que consegue ter impacto direto nas questões ambientais no meio envolvente. Uma das formas de controlar e/ou diminuir custos trata-se da minimização dos movimentos de terra, que por seu lado minimiza a intervenção no meio ambiente.



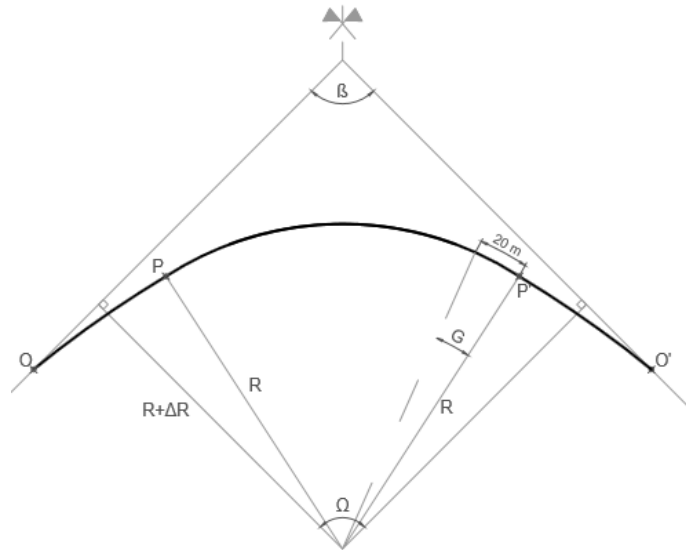


Fig.3.1 -Constituição de uma curva composta

No que diz respeito à circulação automóvel, ao longo de um traçado, estão sempre presentes uma variedade de situações e sempre com alta variedade de características, onde predominam as situações de curvas compostas e pequenos segmentos retos. Porém, no presente caso serão consideradas a situação de circulação em curva circular, sendo aqui onde se apresenta o raio mais reduzido da curva e assim, potencialmente, mais condicionante ao tráfego.

### 3.2. INCLINAÇÃO TRANSVERSAL

Ao longo dos alinhamentos retos a inclinação transversal apresenta-se como um importante elemento na drenagem de águas pluviais, de modo a assegurar a menor quantidade possível de água possível nas vias e o seu menor percurso sobre as mesmas.

Em estradas de montanha, o mais usual e frequente, é a presença de estradas com duas vias e uma faixa de rodagem, sendo nestes casos adotado um perfil transversal em que o eixo da faixa de rodagem será definido como o ponto mais alto da forma em “V” invertido com o valor da inclinação transversal para cada lado relativamente ao eixo. Garantindo assim o menor caminho possível para a precipitação pluvial ocorrente no terreno, de modo a afetar o menos possível o tráfego e a sua circulação.

Quanto ao valor da quantificação da inclinação transversal, é dependente do material constituinte do pavimento e da sua capacidade drenante, sendo de 2,5% nos pavimentos betuminosos (predominante na maior parte da rede viária nacional) e 2,0% nos pavimentos em betão de cimento.

### 3.3. SOBREELEVAÇÃO

Nas situações em que os veículos percorrem uma curva, principalmente nos momentos de curva circular em que o raio é menor, a sobrelevação desempenha um papel relevante no que diz respeito à segurança e comodidade dos utentes da via. A forma mais fácil de descrever a sobrelevação é como uma inclinação transversal de toda a faixa de rodagem, que tem como objetivo absorver parte da aceleração centrífuga. A presença de tal inclinação, permite observar que a componente da aceleração centrífuga se irá dividir numa componente vertical e outra horizontal, conseguindo assim diminuir a intensidade da componente atuante desta aceleração perante o movimento do veículo. Deveria, assim, ser maior o

valor da sobrelevação conforme maior a velocidade praticada e menor o valor do raio da curva. No caso das estradas de montanha, no entanto, o papel da sobrelevação diminuirá em relação igual à máxima inclinação a vencer pelo veículo.

As Normas de Traçado, [1] [2], onde estão referidos valores para a sobrelevação máximas a partir de raios inferiores a 450 metros, e estando no caso a tratar de valores de raio bastante abaixo do limite, o valor da sobrelevação atingiria sempre o valor máximo de 7% de modo a cumprir o estipulado. Porém, a limitação referida nas supracitadas normas, tem estipulado que a linha de maior declive do pavimento, que resulta da raiz quadrada da soma do quadrado do valor da sobrelevação somado com o quadrado do valor inclinação do trainel, não devem ultrapassar os 10%; existindo assim pouca “manobra” possível para o valor da sobrelevação.

$$i_{imp} = \sqrt{i_{long}^2 + Se^2} \leq 10\% \quad (3.1.)$$

Para além da limitação referida no parágrafo anterior, e referindo novamente o tratamento de estradas de montanha, que usualmente apresentam grande quantidade de curvas de baixo raio consecutivas, que proporcionam traçados bastante sinuosos, logo, as situações de excesso da velocidade-base por parte dos condutores não se aplicam tão frequentemente já que as velocidades praticadas são em norma mais baixas e, consequentemente, os valores da aceleração centrífuga tenderão sempre para valores mais baixos; porém com a dispensa da sobrelevação numa curva, implica que o troço exterior da curva terá uma inclinação transversal oposta ao sentido da curva, que provocará uma intensificação da força centrífuga. Como tal deve ser definido um valor mínimo para a sobrelevação, devendo-se assim assumir um valor mínimo de 2,5%.

A sobrelevação e a respetiva variação ao longo do traçado apresentam-se como fatores importantes no que diz respeito aos aspetos da drenagem da água ao longo do traçado, de uma variação cómoda e confortável da aceleração transversal não compensada por parte da sobrelevação e ao nível ótico garante bastante conforto, já que a variação da sobrelevação é limitada, segundo a tipologia da via, raio das curvas e velocidade de tráfego esperados no traçado.

### 3.4. BERMAS

As bermas apresentam-se como um prolongamento do perfil transversal antes de encontrarmos a valeta, com principal propósito de assegurar uma zona de paragem para veículos com problemas, evitando assim a ocupação das faixas de rodagem e assegurando assim um suporte lateral para o tráfego. Outra das finalidades que as bermas apresentam é a possibilidade de funcionarem como escapatória em caso da eminência de um acidente e aumentam a capacidade da estrada.

Porém, para que as condições de utilização das bermas sejam asseguradas bem como a segurança de circulação, é necessário delimitar e diferenciar corretamente as bermas relativamente à faixa de rodagem, com o intuito de evitar a circulação sobre as mesmas. Como tal e segundo as Normas de Traçado, [1] [2], as bermas devem ser contrastantes relativamente à faixa de rodagem, devendo apresentar uma textura e cor diferentes, ou serem separados por traço branco contínuo.

A inclinação transversal que as bermas devem apresentar deve ser a mesma que o elemento pavimentado que a precede, seja a inclinação transversal da faixa de rodagem em reta ou em sobrelevação. No que diz respeito ao comprimento da berma, esta é definida consoante a tipologia da via, estando a tratar a questão de estradas em zonas montanhosas, estamos a tratar de estradas, maioritariamente, nacionais e

municipais. Segundo as referidas normas, a largura total de cada berma deve ser de 1,5 metros, sendo a exceção nas zonas onde se verifica a existência de tuneis ou viadutos onde este valor poderá ser excedido.

Estando a tratar zonas montanhosas, onde a “construção” de cada centímetro de perfil transversal pode atingir valores exorbitantes, as dimensões das bermas em certos casos e bem precavidos, quer anteriormente ou posteriormente, podem ser alterados.

### 3.5. SOBRELARGURA

Este conceito diz respeito à circulação de veículos em curva, tendo em conta a largura dos veículos bem como a sua passagem em segurança. A circulação de um veículo de grandes dimensões e a sua rigidez física (no caso de veículos não articulados, por exemplo) leva à alteração da largura do veículo em circulação em reta e em curva.

O acréscimo da dimensão do veículo quando em circulação em curva é dependente, não só da articulação do veículo e sua rigidez física, como também do menor raio da curva circular em que circula. No caso da circulação de veículos pesados articulados e com reboque, devido às suas dimensões, distância entre eixos e articulação dos mesmos, a área ocupada pelo veículo na faixa de rodagem oposta é grande, e tratando o presente caso de estradas de montanha onde as curvas de raio menor são uma constante, estas áreas tendem a aumentar.

Tratando de zonas de implantação difícil como as zonas montanhosas, o metro quadrado de construção exprime-se como bastante dispendioso e o aumento da largura do perfil transversal resultante da introdução da sobrelargura torna-se bastante dispendioso, devendo assim ser feita uma ponderação de custos, onde devem ser analisados os seguintes aspetos da obra:

- Tipologia da via;
- Topografia da zona de implantação;
- Tráfego espetável (com especial atenção para os veículos pesados com ou sem reboque).

Alguns autores e projetistas, aconselham que a colocação da sobrelargura possa ter uma dimensão de 1,0 metro, de modo a facilitar as manobras de cruzamento de veículos em traçados mais sinuoso. Estando a tratar de zonas de implantação difícil e onde o espaço utilizado representa um elevado custo, esta consideração não deve ser seguida à regra, devendo ser efetuada um calculo mais cuidado para cada um dos casos. Com frequência, para curvas de raio pequeno a sobrelargura pode ser maior, devido às dificuldades de manobrabilidade de alguns veículos.

Para a análise da viabilidade da circulação de veículos, deve ser analisada uma curva circular de raio reduzido, sendo que foram escolhidos os raios de 20, 30 e 40 metros (com base nos raios mínimos presentes nas Normas de Traçado [1] [2] na ordem destes valores), e a sobrelargura a utilizar dividida de igual forma para o intradorso e extradorso, onde a velocidade praticada não deve ser uma limitativa nesta análise já que deve ser admitida uma velocidade base reduzida e cuidada principalmente em curvas, sendo sim problemática a área ocupada por cada um dos veículos enquanto percorrem a curva circular. A circulação de veículos em sentidos opostos deve ser analisada, onde se poderá concluir a viabilidade do cruzamento entre veículos ou o encerramento parcial da via para circulação de veículos de determinadas dimensões em determinados troços mais sinuosos de uma via.

## 3.5.1. VEÍCULOS A ANALISAR

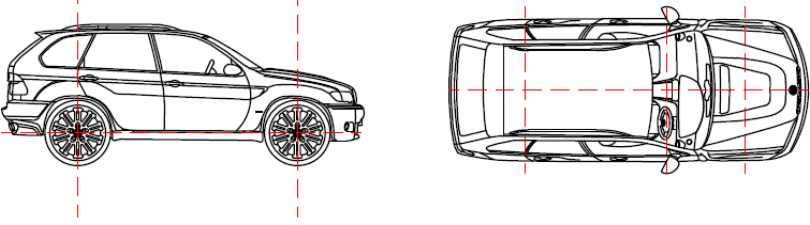
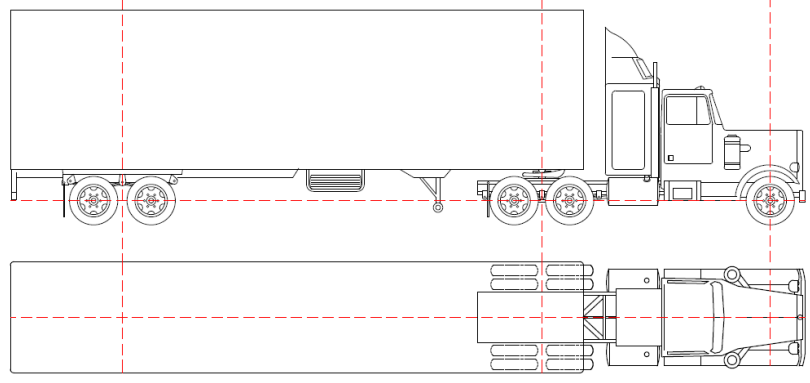
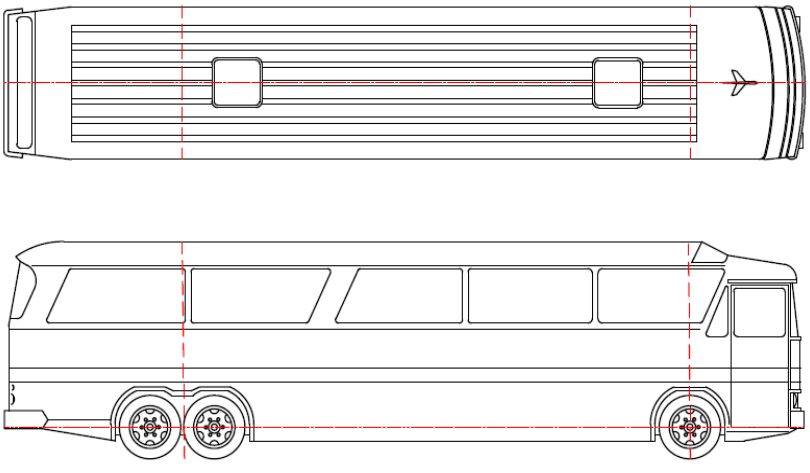
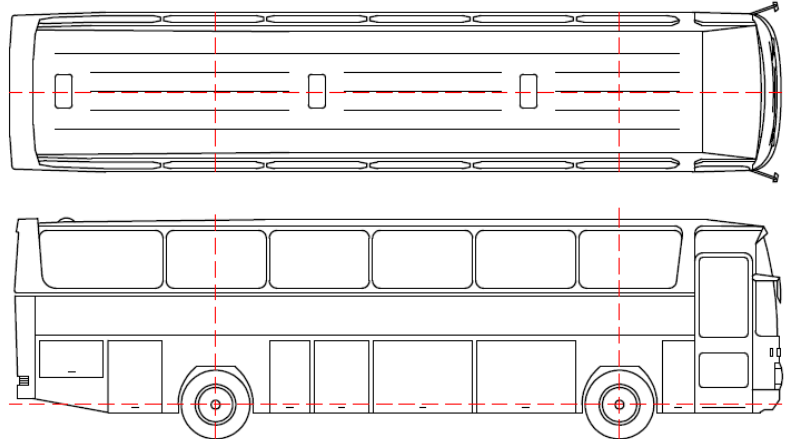
De modo a analisar a viabilidade da melhor solução a adotar para a sobrelargura, os veículos escolhidos e as suas dimensões foram determinadas de acordo com as limitações determinadas no decreto-lei nº 133/2010 de 22 de Dezembro (com a corresponde retificação nº 5/2011) [13].

Quadro 3.1 – Quadro de Dimensões máximas dos veículos para efeitos de circulação [13]

<b>SECÇÃO II Dimensões máximas dos veículos para efeitos de circulação</b>		
<b>ARTIGO 3.º</b>	<b>Dimensões máximas dos veículos</b>	<b>Dimensões [m]</b>
2	Estabelece-se como comprimento máximo:	
a)	veículos a motor de dois ou mais eixos (com exceção dos automóveis pesados de passageiros)	12
b)	reboques de um ou mais eixos	12
c)	automóveis pesados de passageiros com dois eixos	13,5
d)	automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	15
e)	automóveis pesados de passageiros articulados	18,75
f)	conjunto veículo trator semi-reboque de três ou mais eixos	16,5
g)	conjunto de veículo a motor-reboque	18,75
h)	comboios turísticos	18,75
i)	máquinas com motor de propulsão ou rebocáveis	20
3	Estabelece-se como largura máxima dos veículos:	
<b>Retificação nº 5/2011</b>		
a)	qualquer veículo	2,55
b)	veículos de transporte condicionado	2,6
c)	máquinas com motor de propulsão ou rebocáveis	3

No que diz respeito aos veículos escolhidos para esta análise de interceção entre os mesmos foram de acordo com as possíveis previsões de tráfego em zonas montanhosas, onde se pretende analisar o trânsito de veículos pesados de passageiros, conjunto de veículo trator-semi-reboque e um veículo ligeiro, de modo a tentar representar um tráfego representativo de uma zona com potencial de desenvolvimento (que é usual em zonas montanhosas mais interiores, como é o caso de Trás-os-Montes em Portugal Continental).

Quadro 3.2 – Veículos escolhidos e Dimensões consideradas [21]

Tipo	Veículos escolhidos	Dimensões (metros)
Veículo leveiro		4,88x1,93
Conjunto de trator-reboque		18,75x2,60
Automóvel pesado de passageiros com três ou mais eixos		15,0x2,77
Automóveis pesados de passageiros com dois eixos		12,5x2,58

As dimensões escolhidas para os veículos em causa, foram feitas de acordo com a variabilidade de veículos e as dimensões dos mesmos. Algumas dimensões excedem ainda assim a limitação da largura para os veículos presente na Retificação nº 5/2011, porém este valor consegue ser representativo de alguns veículos de outras dimensões e que conseguem representar mais alguma segurança no cruzamento de veículos, por outro lado o veículo ligeiro de passageiros escolhido (tipo SUV) acaba por apresentar uma largura bem inferior ao limite de 2,55 metros, porém representativo das dimensões do parque automóvel nacional no que diz respeito aos veículos ligeiros de passageiros. Admitindo assim, que os resultados posteriormente obtidos possam simular uma situação real, mas não para todos os casos. No exemplo já referido para os transportes especiais, por exemplo, as metodologias de transporte e de montagem de certos elementos são cenários a ser considerados individualmente e com equipas especializadas.

### 3.5.2. METODOLOGIA A ADOTAR

Adotando em média um perfil transversal com 7,0 metros de largura útil ao longo das curvas e admitindo uma sobrelargura de 1,0 metros, já que a situação de maior delicadeza a ocorrer no cruzamento de dois veículos ocorrerá no segmento composto pela curva circular (zona de menor raio da curva).

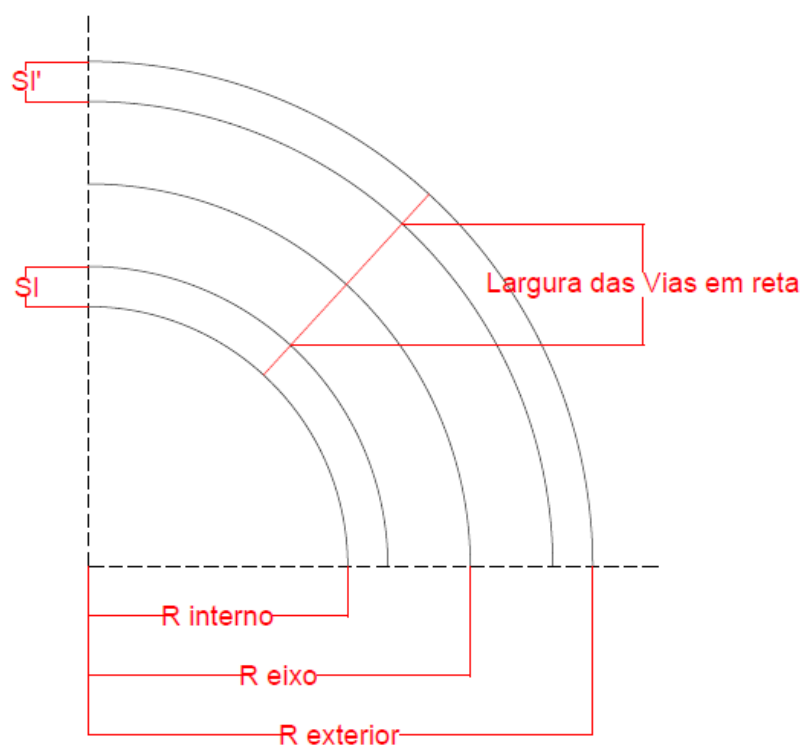


Fig.3.2 -Principais distâncias de uma curva circular

É aqui que o valor da sobrelargura irá atingir a sua dimensão máxima e aqui que a manobrabilidade dos veículos exigirá maior cuidado no cruzamento entre veículos. O valor da sobrelevação escolhido como base para estas curvas é razoável e capaz de confirmar a capacidade de cruzamento entre as diferentes tipologias de veículos.

Segundo os valores propostos pelas Normas de Traçado, [1] [2], existe uma relação entre o raio interior e exterior para que seja possível o trânsito simultâneo entre um veículo ligeiro de passageiros e um camião (12 metros de comprimento). Neste caso serão estudadas 3 gamas diferentes de raios internos, de forma a descobrir o raio externo que viabilize o cruzamento entre veículos.

Quadro 3.3 – Raios mínimos que permitem o cruzamento entre um veículo ligeiro e um camião [1]

Raio interior	Raio exterior
15,0	23,25
20,0	28,00
25,0	32,75
30,0	37,50
40,0	47,50

De modo a verificar a aplicabilidade do trânsito entre dois veículos, foram fixados os raios interiores de cada curva e escolhido um veículo para percorrer a faixa interna da curva. De seguida com a ajuda do programa AutoCad foi determinado o raio externo (correspondente à circulação desse veículo, dependendo das dimensões do mesmo) e esse raio externo escolhido como raio interno do veículo que circula no sentido oposto, e por fim, escolhido o veículo a circular no sentido oposto (e o respetivo raio externo, que corresponderá ao raio externo do referido cruzamento), encontrando assim o raio externo correspondente da referida curva.

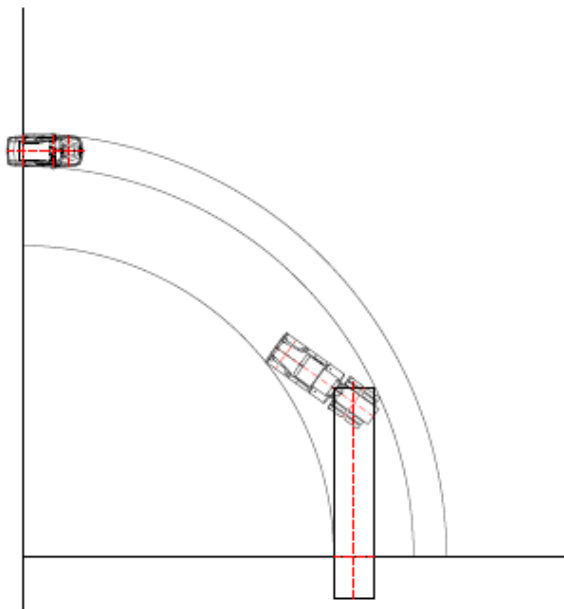


Fig.3.3 – Exemplo de cruzamento entre veículos de diferentes tipologias

## 3.5.3. RESULTADOS OBTIDOS

Quadro 3.4 -Valores de SI para interseções entre veículos de diferentes tipologias para ri=20 metros

1)	Raio interno	20	m	
veículo interior	veículo exterior	Raio externo [m]	Dif. raios [m]	Dif. p/ sl=1m [m]
conjunto veículo a motor-reboque	veículo ligeiro	27,24	7,24	-0,76
	automóveis pesados de passageiros com dois eixos	29,03	9,03	1,03
	automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	30,1	10,1	2,1
	conjunto veículo a motor-reboque	29,82	9,82	1,82
automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	veículo ligeiro	27,57	7,57	-0,43
	automóveis pesados de passageiros com dois eixos	29,35	9,35	1,35
	automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	30,41	10,41	2,41
	conjunto veículo a motor-reboque	30,13	10,13	2,13
automóveis pesados de passageiros com dois eixos	veículo ligeiro	26,29	6,29	-1,71
	automóveis pesados de passageiros com dois eixos	28,12	8,12	0,12
	automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	29,21	9,21	1,21
	conjunto veículo a motor-reboque	28,94	8,94	0,94



Quadro 3.5 - Valores de SI para interseções entre veículos de diferentes tipologias para  $r_i=30$  metros

2)		Raio interno	30	m	
veículo interior		veículo exterior	Raio externo [m]	Dif. raios [m]	Dif. p/sl=1m [m]
conjunto veículo a motor-reboque		veículo ligeiro	36,47	6,47	-1,53
		automóveis pesados de passageiros com dois eixos	37,98	7,98	-0,02
		automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	38,84	8,84	0,84
		conjunto veículo a motor-reboque	38,59	8,59	0,59
automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos		veículo ligeiro	36,74	6,74	-1,26
		automóveis pesados de passageiros com dois eixos	38,24	8,24	0,24
		automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	39,1	9,1	1,1
		conjunto veículo a motor-reboque	38,85	8,85	0,85
automóveis pesados de passageiros com dois eixos		veículo ligeiro	35,78	5,78	-2,22
		automóveis pesados de passageiros com dois eixos	37,31	7,31	-0,69
		automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	38,19	8,19	0,19
		conjunto veículo a motor-reboque	37,94	7,94	-0,06

Quadro 3.6 - Valores de SI para interseções entre veículos de diferentes tipologias para  $r_i=40$  metros

3)		Raio interno	40	m	
veículo interior		veículo exterior	Raio externo [m]	Dif. raios [m]	Dif. p/ sl=1m [m]
conjunto veículo a motor-reboque		veículo ligeiro	46,02	6,02	-1,98
		automóveis pesados de passageiros com dois eixos	47,35	7,35	-0,65
		automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	48,09	8,09	0,09
		conjunto veículo a motor-reboque	47,86	7,86	-0,14
automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos		veículo ligeiro	46,27	6,27	-1,73
		automóveis pesados de passageiros com dois eixos	47,6	7,6	-0,4
		automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	48,33	8,33	0,33
		conjunto veículo a motor-reboque	48,09	8,09	0,09
automóveis pesados de passageiros com dois eixos		veículo ligeiro	45,48	5,48	-2,52
		automóveis pesados de passageiros com dois eixos	46,82	6,82	-1,18
		automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos	47,56	7,56	-0,44
		conjunto veículo a motor-reboque	47,34	7,34	-0,66

O cruzamento entre veículos ligeiros e de qualquer outra tipologia de veículos é possível perante cada um dos raios interiores escolhidos e a respetiva sobrelargura base.

Sendo possível de observar que para curvas circulares de raio interior de 20 metros o cruzamento entre veículos dos tipos conjunto veículo a motor-reboque, automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos e de dois eixos apenas se tornam possíveis com valores da sobrelevação superiores ao valor base admitido.

Já para as curvas de raio interno de 30 metros, para além dos cruzamentos dos vários veículos com veículos ligeiros já antes referidas, o valor da sobrelargura referido permite também a intersecção entre um conjunto veículo a motor-reboque e automóveis pesados de passageiros com dois eixos, e o cruzamento entre dois automóveis pesados de passageiros com dois eixos.

Para o maior raio interior considerado (40 metros) e a sobrelargura predefinida, torna-se possível o cruzamento entre quase todos os veículos exceto entre um conjunto veículo a motor-reboque e automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos, e entre dois automóveis pesados de passageiros com três ou mais eixos.

Em conclusão é possível fixar o valor da sobrelargura para cada um dos raios referidos, de modo a permitir a viabilidade do cruzamento entre veículos. Sendo que, para valores de raios internos de 20 metros ou inferiores, a sobrelargura a ter em conta deve ser na ordem dos 2 ou 3 metros. Para valores de raios internos na ordem dos 30 metros, esse valor pode ser diminuído para 1,5 metros. A partir de valores de raios internos de 40 metros, o valor escolhido de 1,0 metro é razoável e suficiente para o cruzamento em segurança entre veículos de quase todas as tipologias.

### 3.6. DRENAGEM

Os elementos relativos à hidrologia local, por vezes, tornam-se num aspeto de elevada relevância no que diz respeito às limitações que podem impor à planta, respetivo perfil longitudinal e perfil transversal, estando toda a envolvente adjacente envolvida. Sendo aqui bastante pertinente dar ênfase ao período de retorno,  $T$ , que se representa como o inverso da probabilidade de ocorrência de outro fenómeno de igual ou superior precipitação.

Estando a tratar zonas montanhosas, é importante realizar um estudo hidrológico relativo à zona de modo a aferir os caudais, tipos e velocidades de escoamento, bem como os elementos de drenagem necessários. Nessas zonas, onde maioritariamente os declives elevados acabam por ter grande influência no aumento da velocidade do escoamento e alteração dos respetivos regimes. Neste estudo hidrológico torna-se necessário avaliar alguns dados relativos à zona em questão, como:

- Delimitar e caraterizar as várias bacias hidrográficas adjacentes;
- Caraterizar a pluviometria e pluviosidade da zona;
- Caraterísticas da ocupação do solo.

De forma a conseguir assegurar a viabilidade dos elementos de drenagem existentes, torna-se necessário um estudo hidrológico da zona que consiga conciliar a probabilidade de cheias e os custos subsequentes para a obra.

Usualmente, os registos de caudais ocorrentes numa bacia são inexistentes ou incompletos, sendo necessário recorrer a dados pluviométricos, ocorrentes na zona, de forma a calcular um caudal condizente com o caudal máximo pré-existente na bacia hidrográfica (caudal de ponta de cheia). Sendo que o escoamento preconizado pode ser direto, originado pela precipitação útil ou pelo degelo de massas, ou de base, que permite que um escoamento subterrâneo volte a ser superficial e capaz de exceder a capacidade dos elementos hidráulicos existentes.

Admitindo que o cálculo do caudal de ponta deve ser calculado através da seguinte fórmula 3.2.:

$$Q = K \times \frac{C \times I}{360} \times A \quad (3.2.)$$

Onde:

$Q$  [m<sup>3</sup>/s] – caudal associado a um período de retorno  $T$ ;

$K$  – 1 se  $T < 25$  anos; 1,1 se  $T = 25$  anos; 1,2 se  $T = 50$  anos; 1,25 se  $T \geq 25$  anos;

$C$  – coeficiente de escoamento;

$A$  [ha] – área da bacia drenante;

$I$  [mm/h] – intensidade de precipitação para um dado período de retorno  $T$ .

No caso dos estudos de estradas de montanha, a principal particularidade da análise das chuvas é demonstrada pela capacidade de infiltração da água nos terrenos ser diminuta relativamente a casos com terreno menos acidentado, podendo ser considerado nulo o valor de água infiltrada, e, assim  $t_d = t_c$ , onde os valores do coeficiente de escoamento frequentemente se aproximam de 1. O que por seu lado, acarreta caudais específicos particularmente elevadas. Tal resulta de um maior desnível entre pontos de referência, bem como inclinações mais elevadas.

Note-se que no presente caso de estradas de montanha serem, por definição, construídas a cotas bastante elevadas, é usual que estas subdividam as bacias hidrográficas em que se inserem em pequenas bacias.

### 3.6.1 I – INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

Para o cálculo da intensidade de precipitação para um dado período de retorno existem várias metodologias, sendo este o parâmetro com caráter mais variável e limitativo para o cálculo do caudal de ponta de cheia.

As metodologias mais usadas em Portugal para o cálculo de caudais, nomeadamente pela BRISA e ex-JAE para o dimensionamento de passagens hidráulicas, são baseadas no método racional.

Na formulação pelo método racional, os valores para a intensidade de precipitação são obtidos a partir de curvas de intensidade-duração-frequência (usualmente conhecidas como curvas IDF) e tempo de concentração da bacia.

No que diz respeito às curvas IDF (fig. 3.3.) estas permitem identificar, em função do período de retorno utilizado em cada obra (que tem de ser fixado previamente entre 2 e 100 anos) e da zona em questão (divisão de Portugal Continental em 3 zonas), dois parâmetros ( $a$  e  $b$ ) de importante valor e que correlacionados com o tempo de concentração permite a obtenção da intensidade de precipitação. Em alternativa podem ser usados os valores referentes aos diversos postos udométricos nacionais, apresentadas em anexo.

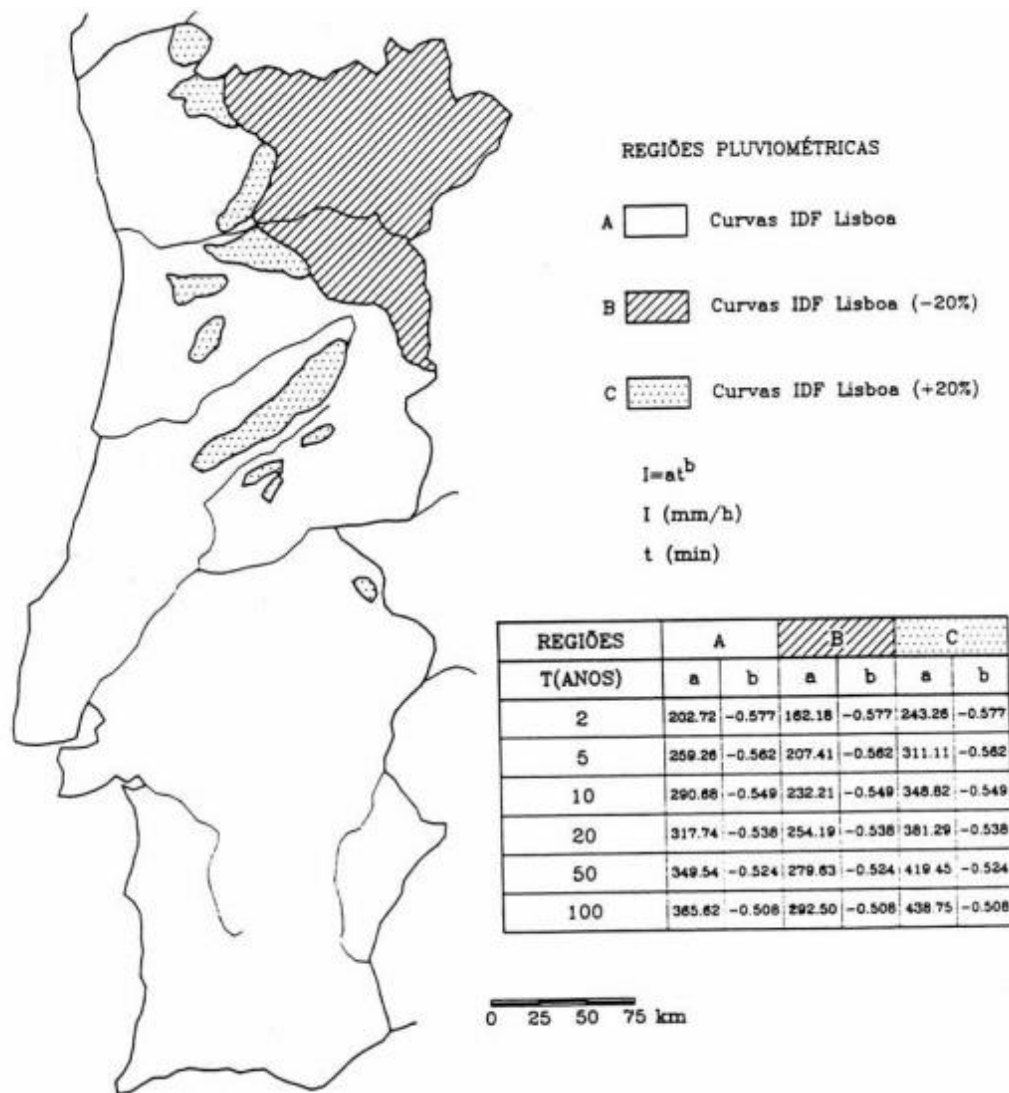


Fig.3.4 – Curvas IDF

O tempo de concentração,  $t_c$ , de cada bacia é o fator que nos indica o tamanho hidrológico da bacia, isto é, representa o tempo que demora a gota de água precipitada no local hidrológicamente mais distante da bacia a percorrer a mesma até ao ponto a considerar; sendo, portanto, um dado característico e independente de cada bacia hidrográfica. Em bacias constituídas por elementos urbanos e para os respetivos coletores, em diferentes países são utilizados valores de referencia entre 2 minutos (Grã-Bretanha) até 30 minutos (EUA). Existindo neste cálculo uma grande panóplia de opções de escolha acerca do método de cálculo e devidas propostas, serão apresentadas apenas algumas das metodologias mais adequadas para o caso das zonas montanhosas.

### 3.6.1.1. Temez (1978)

Esta metodologia, com aplicabilidade a bacias hidrográficas naturais com áreas inferiores a 30 km<sup>2</sup>, foi desenvolvida após uma análise de várias bacias espanholas, tendo em conta as características do curso de água principal da bacia,

$$t_c = 0,3 \left( \frac{L_b}{i_m^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (3.3.)$$

Onde,

$t_c$  (h) – tempo de concentração;

$L_b$  (km) – comprimento do curso de água principal da bacia;

$i_m$  (m/m) – declive médio do curso de água principal da bacia.

### 3.6.1.2. Velocidade de Escoamento Superficial

Segundo este método, é possível calcular o tempo de concentração com base na relação entre a distância dos cursos de água da rede hidrográfica e a velocidade média dos escoamentos definidos, onde as velocidades são arbitradas segundo duas metodologias que relacionam o declive médio dos terrenos adjacentes a cada curso de água e as suas ocupações.

O tempo de concentração é calculado por cada troço e é dado pela seguinte expressão

$$t_c = \frac{L}{U} \quad (3.4.)$$

Onde,

$t_c$  (h) – tempo de concentração;

$L$  (m) – comprimento da rede hidrográfica de caraterísticas homogêneas;

$U$  (m/s) – velocidade média do escoamento.

Para o cálculo das velocidades de escoamento, como anteriormente foi dito devem ser usadas relações entre inclinações e diferentes ocupações do terreno. Para a obtenção do valor da velocidade, caso de estejamos a tratar de caudais e troços bem definidos devem ser usados os valores referentes ao Quadro 3.7., para o caso de o canal não ser bem definido, devem ser usados os valores referente à Fig.3.4..

Quadro 3.7 - Limites de velocidades de escoamento superficial para diferentes inclinações

Tipo de escoamento	Declive do terreno (%)			
	0-3	4-7	8-11	12-15
Escoamento não canalizado:				
Bosques e florestas	0-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-
Pastos	0-0,8	0,8-1,0	1,0-1,3	1,3-
Terrenos cultivados	0-0,9	0,9-1,4	1,4-1,7	1,7-
Terrenos urbanizados	0-2,6	2,6-4,1	4,1-5,2	5,2-
Escoamento canalizado:				
Canal natural mal definido	0-0,6	0,6-1,2	1,2-2,1	2,1-

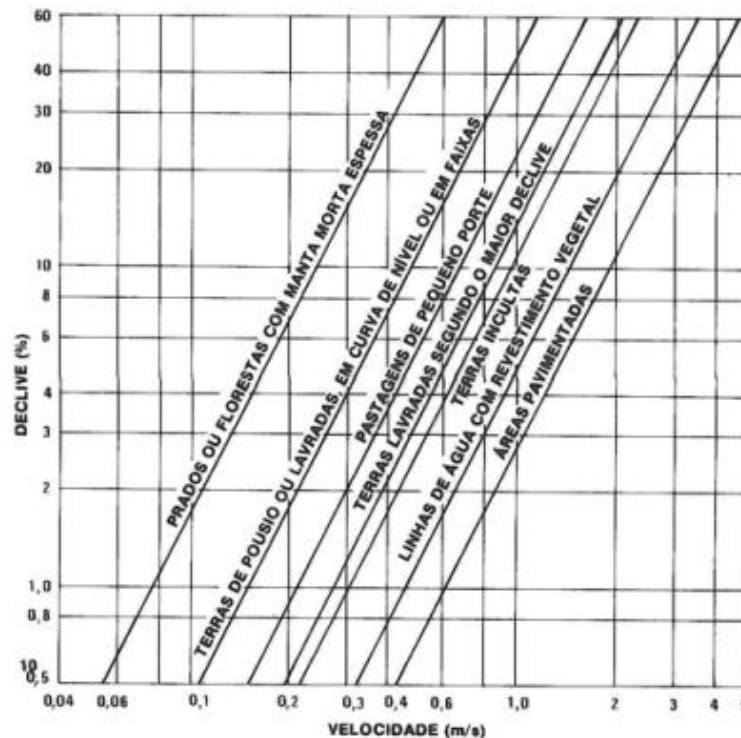


Fig.3.5 - Relação entre declives e velocidades de escoamentos para diferentes tipologias

### 3.6.2. C – COEFICIENTE DE ESCOAMENTO

O coeficiente de escoamento de uma bacia hidrológica é o fator que diz respeito essencialmente ao ciclo hidrológico na zona adjacente. Este coeficiente de uma forma simplificada pode ser definido como uma relação entre os volumes de água escoada, das várias formas, e o volume precipitado, dando de certa forma a indicação das características da bacia, bem como da ocupação e urbanização da área de estudo; sendo este cálculo bastante simplista, mas de difícil cálculo ao longo de toda a bacia.

A variância deste coeficiente depende dos vários caminhos que a água precipitada e a capacidade desta para se infiltrar e dissipar. Quando quantificado, este coeficiente, deve ser tida em conta a possível evolução do mesmo, consoante a possível urbanização do terreno ou ocorrência de incêndios (por exemplo) e, claro, com a diminuição do tempo de retorno das chuvadas adjacentes (tempo entre chuvadas que excedem o  $Q_0$ ).

Sendo assim, o coeficiente de escoamento, uma precipitação sobre uma superfície totalmente impermeável, com nenhuma perda de água e com todo o caudal precipitado a dar lugar a escoamento, terá um coeficiente de 1,0. Em projetos o cálculo do coeficiente pode ser feito a partir das Normas Espanholas, do método racional (a partir do manual da ASCE) ou a partir da classificação dos solos segundo o SCS.

Nos casos de estradas de montanhas a forte inclinação que se faz sentir ao longo do traçado, bem como nas bacias hidrográficas adjacentes à mesma, é comum que os valores dos coeficientes de escoamento se aproximem da unidade.

### 3.6.2.1. Temez

Para o coeficiente de escoamento, Temez encontrou forma de adaptar a formula do Soil Conservation Service e torna-la aplicável a pequenas bacias hidrográficas naturais.

$$C = \frac{(P_d - P_0)(P_d + 23P_0)}{(P_d + 11P_0)^2} \quad (3.5.)$$

Onde,

$C$  – coeficiente de escoamento;

$P_d$ (mm) – precipitação máxima diária;

$P_0$  (mm) – parâmetro relativo às perdas iniciais da chuvada antes de se iniciar o escoamento;

O parâmetro  $P_0$  pode ser obtido em Temez (1978), ou calculado por:

$$P_0 = \frac{5080}{CN} - 50,8 \quad (3.6.)$$

Em que CN é o número de escoamento definido pelo SCS. De referir que os valores mais frequentes de  $P_0$  variam entre 24 mm e 35 mm.

### 3.6.2.2. Fórmula Racional (ASCE)

No caso de se recorrer ao método racional, o coeficiente de escoamento deve ser obtido a partir do quadro referido em anexo, sendo a ponderação feita de forma simplista e apenas baseando-se no tipo de ocupação do solo ou tipologia da superfície, admitindo-se uma ocupação homogênea para cada bacia hidrográfica.

Apresentando assim as suas limitações, já que a precipitação é variável ao longo da área considerada e no tempo, não sendo consideradas perdas ao longo da precipitação e a consideração de uma bacia



hidrográfica ao longo de toda a sua área, devido a heterogeneidade existente nos meios (sendo aconselhada a divisão em pequenas bacias de toda a área).

### 3.6.2.3. NÚMERO DE ESCOAMENTO, SOIL CONSERVATION SERVICE

O número da curva de runoff relacionando com o escoamento superficial é dado por CN, sendo classificado segundo a metodologia dado pelo SCS onde relaciona os vários tipos de solo (segundo a classificação), cobertura e condições de humidade.

Para a obtenção do número de escoamento seguindo a metodologia, inicialmente, é feita uma escolha da tipologia de cada solo a considerar, segundo o SCS, onde existem quatro classificações possíveis para esses solos:

- Tipo A – Solo dando origem a um escoamento superficial muito baixo por apresentar permeabilidade muito elevada. Inclui, essencialmente, areias profundas com muito pouco limo ou argila e também loess profundo muito permeável;
- Tipo B – Solo menos permeável do que o do tipo A dando origem a um escoamento superficial razoavelmente baixo. Inclui, essencialmente, solos arenosos menos profundos do que os do tipo A e loess menos profundo e menos agregado que o do tipo A. Estes solos apresentam, no entanto, permeabilidade superior à média;
- Tipo C – Solo dando origem a um escoamento superficial moderado, superior à média e superior a qualquer das situações anteriores. Inclui, essencialmente, solos pouco profundos e solos com quantidades apreciáveis de argila, se bem que menos do que os solos tipo D;
- Tipo D – Solo dando origem a um escoamento superficial elevado por apresentar baixa permeabilidade. Inclui, essencialmente, argilas pouco expansivas e alguns solos pouco profundos com sub horizontes quase impermeáveis.

Admitindo a heterogeneidade da bacia hidrográfica a ser considerada, devem ser calculados o número de escoamento consoante uma ponderação dos números de escoamento das diferentes condições de utilização ou cobertura do solo e a área correspondente aos mesmos. Sendo esta uma metodologia mais trabalhosa, já que trata a divisão da respetiva bacia hidrográfica e classificação de cada uma das áreas correspondentes.

$$CN = \frac{\sum CN_i A_{bi}}{\sum A_{bi}} \quad (3.7.)$$

Sendo que para o presente, do caso de zonas montanhosas, apenas faz sentido a utilização do quadro do manual referente a zonas rurais, sendo que o quadro referente a regiões urbanas, suburbanas e agrícolas, apresenta uma aplicabilidade dúbia para o caso de zonas montanhosas (sendo que ambos os quadros estão referidos em anexo). A multiplicidade de classificações, segundo o SCS, da utilização ou cobertura de um solo em zonas montanhosas não é usual apresentar grande variedade que justifique tal ponderação, sendo que em certos casos de bacias de menores dimensões pode ser dispensada tal ponderação.

Após este cálculo, é altura de analisar as condições de humidade relativas ao solo, podendo estas ser classificadas segundo a precipitação total nos 5 dias antecedentes (SCS, 1972) ou segundo as condições antecedentes de humidade (Correia, 1984b) e classificar as situações, ocorrendo uma posterior correção do valor de CN.

Sendo que após o número de escoamento proposto para a bacia hidrográfica, segundo o SCS é possível calcular uma aproximação do coeficiente de escoamento para áreas permeáveis em função da classificação do solo e declive médio.

Quadro 3.8 - Valores para o coeficiente de escoamento para diferentes inclinações segundo as classificações do SCS [10]

Declive	Solo tipo A	Solo tipo B	Solo tipo C	Solo tipo D
Plano $i < 1\%$	0,04-0,09	0,07-0,12	0,11-0,16	0,15-0,20
Médio $1\% < i < 6\%$	0,09-0,14	0,12-0,17	0,16-0,21	0,20-0,25
Inclinado $i > 6\%$	0,13-0,18	0,18-0,24	0,23-0,31	0,28-0,38

Sendo esta tabela indicativa do desenvolvimento do coeficiente de escoamento perante o aumento do declive da zona a tratar.

#### 3.6.2.4. NORMAS ESPANHOLAS

Acerca desta metodologia é possível afirmar que são avaliados quatro parâmetros (relevo, permeabilidade do solo, vegetação, capacidade de armazenamento) para uma fácil quantificação do coeficiente de escoamento para cada uma das situações, onde, cada um dos parâmetros é avaliados segundo o valor de K na Quadro 3.9. e classificado.

Quadro 3.9 - Valores de K segundo as Normas Espanholas [10]

K				
Relevo do Terreno	40	30	20	10
	$i > 40\%$	$40\% < i < 10\%$	$10\% < i < 5\%$	$i < 5\%$
Permeabilidade do solo	20	15	10	5
	Muito impermeável	Bastante impermeável	Bastante permeável	Muito permeável
Vegetação	20	15	10	5
	Nenhuma	Pouca (-10% Área)	Bastante (-50% Área)	Muita
Capacidade de armazenamento	20	15	10	5
	Nenhuma	Pouca	Bastante	Muita

Na tabela seguinte o valor do somatório K para cada situação será alvo de uma ponderação na Quadro 3.10. e respetiva interpolação para o valor de K obtido.

Quadro 3.10 - Correspondência entre os valores de K e C [10]

K	75-100	50-75	30-50	25-30
C	0,65-0,80	0,50-0,65	0,35-0,50	0,20-0,35

### 3.7. ELEMENTOS DE DRENAGEM

No que diz respeito à capacidade de escoamento de uma estrutura pavimentada e sua subestrutura, é muitas vezes subdimensionada não por incapacidade de “escoar” a água precipitada de uma chuvada, mas sim para o caso da precipitação consecutiva e constante, situação que leva a que a base da estrutura se apresente encharcada bastantes vezes durante os meses de Inverno, levando a que as patologias se acabem por desenvolver.

Anteriormente, neste capítulo, já foram tratados e referenciados dois elementos que apresentam elevada relevância no que diz respeito à drenagem superficial, a sobrelevação em curva e a sua variação e a inclinação transversal em reta, quer em fase de construção quer definitivamente. A previsão e cálculo de um sistema de estruturas de drenagem efetiva ao nível superficial; sendo de destacar os vários elementos “visíveis” longitudinalmente quer à altura da plataforma (valetas e valas de bordadura) quer fora da plataforma (valas de crista, valas de pé-de-talude e valas de banquetas), sendo de destacar o sistema transversal de coletores com função de recolher, ligar e derivar os caudais afluentes às estruturas anteriormente referidas. Bem como um sistema de drenagem profundo constituída por um conjunto de valas e drenos que em conjunto com os restantes sistemas de drenagem, que tentam limitar a altura dos lençóis freáticos subterrâneos de modo a que não atinjam a estrutura.

Perante estas soluções, é sempre preferível, em situações de idênticas solicitações, a drenagem superficial à profunda; devendo-se optar sempre pelo excesso de pontos que permitem expulsar a água da estrutura, precavendo sempre as situações de possíveis chuvadas. Deve sempre ser feito um estudo acerca da variedade de soluções e aplicações possíveis para cada caso, custos de construção e manutenção e a minimização dos possíveis danos na envolvente da obra.

#### 3.7.1. VALETAS

As valetas, apresentam-se como os elementos de maior importância no que diz respeito à drenagem superficial, tratando-se canais superficiais que têm a função de coletar e conduzir a água precipitada, em toda a área adjacente à via e taludes e solos naturais adjacentes à plataforma, para zonas seguras de modo a não afetar o funcionamento da via com inundações. O formato geométrico mais utilizado nas valetas é a forma triangular, porém, em diferentes situações são usados canais circulares e prismáticos, sendo a sua escolha feita a partir dos caudais e respetivas velocidades e segurança do escoamento. O revestimento das valetas e o coeficiente associado à rugosidade dos mesmos terá grande influência no que diz respeito às velocidades máximas do escoamento permitidas.

Estes elementos devem estar presentes em todas as obras de engenharia associadas a obras rodoviárias, onde se podem observar essencialmente 4 tipos de valas com diferentes funcionalidades e localizações (valas de bordadura, valas de crista, valas de banquetas e valas de pé-de-talude).

Para o dimensionamento de valas e valetas, deve ser admitido um arruamento com declive transversal constante e que o perímetro molhado se pode aproximar à largura superficial do escoamento.

Sendo o cálculo da capacidade de vazão destas estruturas deve ser feito segundo a fórmula 3.8. de Manning-Strickler:

$$Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times i^{1/2} \quad (3.8.)$$

Onde:

Q (m<sup>3</sup>/s) – Caudal de vazão;

S (m<sup>2</sup>) – secção molhada da secção de escoamento;

$K_s$  – coeficiente de Manning referente aos revestimentos das paredes, referido em anexo:

R (m) – raio hidráulico;

i – inclinação do coletor.

Nota ainda para as soluções adotadas para meios urbanos que diferem um pouco das anteriores, já que é de evitar o escoamento superficial nestes meios, sendo os aparelhos utilizados para a captação das águas pluviais são as caleiras, sumidouros e sargetas.

### 3.7.2. PASSAGENS HIDRÁULICAS

As passagens hidráulicas, também conhecidas como PH's, são elementos que se situam sob os aterros e que têm como objetivo permitir a passagem de “pequenos” cursos de água pertencentes a bacias hidrográficas de pequenas dimensões, áreas inferiores a 100km<sup>2</sup>, permitindo também a concentração a jusante dos vários caudais concentrados pelos órgãos de drenagem anteriormente referidos. Quanto à multiplicidade de possibilidades de passagens hidráulicas possíveis de construir, é de referir que a sua variedade quanto ao número (simples, duplas ou triplas), forma (circulares, retangulares, abobadadas ou elípticas) e material das condutas (betão ou aço corrugado).

No que diz respeito à correta escolha dos elementos de drenagem, torna-se indispensável a análise dos seguintes fatores:

- Dimensão dos caudais adjacentes, velocidades e alturas das linhas de água;
- Largura da linha de água;
- Quantificação e localização dos canais de passagem;
- Altura disponível entre a superfície do pavimento e o fundo do leito (recobrimento mínimo e altura máxima de aterro);
- Condições de fundação da obra;
- Rapidez e facilidade de construção;
- Resistência a agentes químicos e ao choque;
- Secção a utilizar e respetivos elementos geométricos;
- Materiais a usar;
- Custos adjacentes a cada solução.

No que diz respeito aos materiais usados para a zona entubada das PH's, em estradas da tipologia a tratar, é repetida a utilização de estruturas de aço, o que confere elevada viabilidade ao escoamento e de limpeza ( $K_s = 100$ ) e ao nível estrutural confere uma elevada flexibilidade, precavendo possíveis assentamentos dos solos adjacentes e subjacentes.

Para o caso de dimensionamento de passagens hidráulicas torna-se necessário definir e calcular uma série de valores correspondente ao escoamento a montante da estrutura, ao longo do tubo e a jusante do mesmo.

Assim o máximo caudal escoado pela estrutura resultará de derivar e igualar a zero a expressão do caudal:

$$H = y + \frac{Q^2}{2gS^2} + K_e \quad (3.9.)$$

$$Q = \sqrt{\frac{H-y}{1+K_e}} \times 2g \times S \quad (3.10.)$$

$$\frac{dQ}{dy} = \sqrt{\frac{2g}{1+K_e}} \left( L \times \sqrt{H-y} - \frac{S}{2\sqrt{H-y}} \right) = 0 \quad (3.11.)$$

$$y = H - \frac{S}{2L} \quad (3.12.)$$

Inicialmente devem ser fixados o perfil transversal, a secção transversal a jusante (conferindo os respetivos reajustes nas dimensões e materiais das mesmas) e a rugosidade nas tubagens e a jusante destas, de modo a permitir o cálculo do regime de escoamento a jusante e respetivas alturas da linha de água (crítica,  $h_c$ , e a jusante,  $h_j$ ) garantindo que as seguintes verificações ao nível das velocidades e altura da linha de água, onde

- $U_j < U_{max}$ ;
- $U < 4,5 \text{ m/s}$ ;
- $h_j < h_{canal}$ ;
- $h_j < flecha$ ;
- $h_1 < flecha$ ;
- Garantir também que o valor  $h_M$  está de acordo com as limitações da distância mínima entre o nível da água e plataforma.

Estando a tratar no presente caso de zonas montanhosas, que admitem inclinações bastante significativas, é razoável admitir a situação de escoamentos se restringe a regimes rápidos ( $h_n < h_c$ ). Considerando assim, que a altura da linha de água a jusante do tubo é igual a altura crítica, devendo ser calculada a velocidade do escoamento aqui e garantindo a conformidade da mesma.

Posteriormente, deve ser analisado o regime no interior do tudo, admitindo novamente o regime rápido como dominante, é natural que o controle do escoamento se encontre a montante das PH. Tratando-se de ambos os regimes rápidos (no tubo e a jusante) de seguida é admitido que  $h_1 = y_c$  e a altura a montante será calculada e garantir que cumpre as normas de segurança, bem como a respetiva velocidade a montante. Nota para o caso em que se verifica um regime rápido no interior do tubo e um regime lento a jusante, o perigo de um ressalto hidráulico no interior do tubo seria real e com consequências graves para a estrutura.

### 3.7.3. BACIAS DE RETENÇÃO

As bacias de retenção são uma das ferramentas utilizadas, essencialmente em zonas urbanas, de modo a fazer frente à crescente impermeabilização dos solos e consequente aumento do tempo de concentração

de uma bacia hidrográfica. Tratando-se de estruturas multifacetadas com capacidade de armazenamento de águas pluviais, com várias funcionalidades e usos.

A sua utilização, em zonas montanhosas, é de aplicabilidade dúbia devido às condicionantes espaciais nos trabalhos da zona em questão, porém a sua aplicabilidade revela benefícios na resposta dos elementos drenantes dimensionados anteriormente.

- Melhorar a resposta hidráulica de PH's existentes, evitando que os limites de vazão destas sejam excedidos, alterando os caudais efluentes;
- Reduzir os efeitos de um aumento da urbanização e impermeabilização de bacias hidrográficas, evitando a remodelação ou reforço da rede de drenagem existente;
- Reduzindo o risco de inundações, já que existe a funcionalidade de reter caudais; sendo que a alternativa de canalizar os caudais, apenas “transfere” os caudais excedentes para jusante da bacia;
- Criação de reservas de água para ajuda no combate a incêndios e ajuda de fornecimento de água para fins agrícolas;
- Melhoramento na qualidade das águas pluviais antes de estas se infiltrarem nos lençóis freáticos, através de processos físicos, químicos e microbiológicos;
- Construção de polos de interesse recreativo e turístico.

A classificação das bacias de retenção é feita quanto à sua finalidade e à sua estrutura física, subdividindo-se a estrutura física em 3 níveis de classificação, quanto à cota da bacia relativamente à superfície, quanto ao seu posicionamento relativamente ao coletor/canal de drenagem principal e quanto ao seu comportamento hidráulico.

### 3.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito ao perfil transversal adaptado a estradas montanhosas, os vários elementos devem admitir certas características próprias, que não se apresentam normalizadas, e outros comuns ao normal traçado de uma via.

No que diz respeito à inclinação transversal e o seu propósito principal, de drenagem eficaz da água presente na via, em qualquer via, deve apresentar-se como noutra via qualquer com um valor de inclinação dependente do pavimento em questão.

Respeitando os limites da linha de maior declive do pavimento, deve ser no máximo de 10%, e estando presente de estradas montanhosas, os valores da sobrelevação devem ser ponderados em situações de maiores inclinações. Sendo assim foi fixado um valor mínimo da sobrelevação de 2,5%, onde mesmo na presença de traneis de valores superior a 7,5%, a premissa dos 10% de linha de maior declive do pavimento fica em risco deve ser excluída, já que o valor da sobrelevação, mesmo que para velocidades reduzidas, deve ser sempre admitido.

Para a questão das bermas, os valores das dimensões a adotar para estes elementos deve ser o normalizado, sendo que estando a tratar de estradas de montanha, esses valores possam ser reduzidos em certos casos específicos.

A sobrelargura, é uma questão bastante pertinente ao longo do traçado de uma via em estradas montanhosas, já que é este valor que irá definir a permissão de cruzamento entre diferentes tipologias de veículos. A necessidade e frequência de cruzamento entre estes veículos, bem como o tráfego expectável para a via em questão, determinarão a necessidade ou não, de aumentar este valor ao longo do perfil longitudinal em curva. Sendo que em casos de tráfego muito reduzido, estes valores serão os

normalizados e em casos de transportes especiais e/ou de pesados estes serão acompanhados de medidas especiais de circulação.

Por fim, foi considerada a questão da drenagem e dos elementos que permitem a eficácia da mesma ao longo do traçado. Devendo ser uma questão a ter em conta devido às elevadas inclinações dos terrenos adjacentes, que terão tendência a repercutir escoamentos rápidos e com elevada capacidade erosiva, caso se registem mudanças para regimes críticos ou lentos.





## 4

**COORDENAÇÃO DO  
TRAÇADO EM PLANTA E EM  
PERFIL LONGITUDINAL**

“Os traçados em planta e perfil são elementos permanentes de uma estrada, pelo que se não houver uma boa coordenação no projeto, uma vez construída o seu aspeto desagradável será visto e sentido pelos utentes durante toda a vida da obra. Com efeito um bom traçado ótico resulta da escolha harmoniosa dos elementos geométricos e da sua correlação, que deve ser tal que as características do traçado sejam facilmente perceptíveis e não variem bruscamente”, perante esta citação retirada das Normas de Traçado, [1] [2], é fácil de concluir que esta relação e coordenação deve ser pensada e repensada várias vezes, e antes de ser tomada a decisão definitiva deve ser idealizada a proposta no terreno, de modo a analisar as varias singularidades presentes no terreno.

Na elaboração do projeto de uma via, inicialmente é tratado o traçado em planta, sendo posteriormente estudado o perfil longitudinal. Esta conjugação, pode assumir-se como problemática, quando nos deparamos com singularidades, como a interseção da estrada com cursos de água naturais ou obras de arte já existentes no meio, que irão fixar cotas de projeto fixas para esses pontos dependendo da obra a realizar e da dimensão da mesma. Devendo, portanto, o traçado em planta deve ser idealizado o projeto em três dimensões, abrangendo simultaneamente o projeto em planta e em perfil longitudinal, de modo a evitar que estas singularidades comprometam o desenvolvimento do projeto, e que se deva possuir a percepção dessas peculiaridades e que todo o projeto seja efetuado tendo em conta as mesmas.

Como tal, a primeira premissa para a elaboração do projeto de uma via, a elaboração do projeto em planta, deve ser aglutinada com a elaboração do perfil longitudinal da mesma. Permitindo assim que as singularidades de cada um dos projetos sejam tidas em conta para ambos os casos, conseguindo assim uma articulação mais razoável e diminuindo perdas de tempo. Posteriormente, serão apresentados vários exemplos de situações a ter em atenção.

Estas coordenação entre projetos deve ser respeitada por parte da equipa de projetistas, já que existem situações de estradas, que conseguem cumprir na totalidade das normas em planta e perfil, porém durante a sua exploração se revelam como locais bastante inseguros para os utentes da via. Nestes casos existem, por vezes, grandes dificuldades na resolução destes problemas, uma vez que após construída a estrada bem como toda a estrutura de suporte da mesma, algumas ligeiras alterações quer no traçado ou na envolvente do mesmo, podem tornar-se soluções bastante dispendiosas.

O conforto e respetivo aspeto visual, que a estrada consegue transmitir ao utente, deve ser um aspeto fundamental a ter em conta quer na definição da planta bem como o respetivo perfil longitudinal a adotar

ao longo do traçado, de modo a admitir uma condução agradável assim como segura, tendo assim como principais premissas a adotar:

- Permitir ao condutor visualizar o pavimento bem como eventuais obstáculos ao longo do curso, de modo a permitir efetuar manobras evasivas, e parar se necessário;
- Localizar devidamente as zonas singulares (interseções, nós de ligação, praças de portagem, ...) evitando as concordâncias convexas, curvas de pequeno raio, ou zonas de descontinuidade em perspetiva.
- Facilitar a compreensão do desenvolvimento do traçado por parte do utente, evitando possíveis erros de perspetiva, quebras ou descontinuidades.

De modo a evitar que sejam cometidos tais erros de conceção da via, garantindo uma boa coordenação entre os traçados em planta e perfil, o projeto deve cumprir determinados princípios, tais como:

- Garantir o enquadramento do projeto, em planta e em perfil, face ao meio ambiental em que se insere;
- Tentar uma sobreposição das curvas em planta e em perfil, já que melhora largamente o aspeto visual da estrada, garantindo um desenvolvimento extenso das curvas verticais;
- Garantir o máximo raio possível para as curvas de modo a evitar problemas de circulação e engarrafamentos possivelmente causados por veículos pesados com cargas de difícil transporte, como posteriormente será analisado;
- Sempre que possível e se justifique, garantir alinhamentos independentes com 2x2 vias, tendo sempre em conta o custo/benefício;

Assegurar a possibilidade de efetuar ultrapassagens em segurança, garantindo boas visibilidades, deve ser uma prioridade em qualquer tipo de estrada. Porém, com as limitações referidas ao nível das encostas irregulares, que usualmente caracterizam as zonas montanhosas, bem como a sinuosidade do traçado, tornam a implantação destas distâncias um critério a dispensar já que é assumido que a prioridade das mesmas é a ligação entre pontos, de difícil ligação com uma topografia condicionante, de forma segura e permitindo o cruzamento de veículos em sentidos contrários.

De modo a permitir um bom aspeto visual da via, devem ser tidas em conta, simultaneamente, as questões da implantação da estrada, do traçado e do perfil transversal. De modo a atingir um equilíbrio entre estes e seja possível a preservação do meio natural ao máximo, o projeto deve definir algumas premissas sobre o conteúdo das Normas de Traçado, [1] [2], das quais são de destacar:

- A implantação do traçado deve ser tal que preserve o ambiente natural e permita a vista de paisagens cénicas;
- O traçado deve integrar-se no carácter da área atravessada, de tal modo que as “feridas” causadas pelas escavações e aterros sejam o mínimo possível. O traçado em planta e perfil deve ser coordenado de modo a obter-se uma aparência agradável;
- A destruição de vegetação existente deve ser minimizada. Nas áreas florestais deve ser efetuado um inventário das árvores afetadas, de modo a obterem-se elementos detalhados sobre as variedades, o estado, a localização e o porte;
- Deve prever-se a substituição das plantas afetadas, a qual deve refletir a importância visual das plantações perdidas. Deve também ser assegurada a conservação das plantações efetuadas;
- A vegetação existente, tais como árvores ou maciços de arbustos, podem ser seletivamente desbastados ou abatidos, de modo a permitir vistas cénicas ou assegurar uma fronteira natural entre a floresta e as áreas livres;
- Devem ser assegurados miradouros quando a vista e a paisagem sejam excecionais, e existam locais que tornem possível a sua construção;

- Sempre que o custo não seja excessivo, é preferível o recurso a viadutos, tuneis e muros de suporte, em vez de agressivos taludes de aterro ou escavação.
- Os taludes devem ser suavizados, sempre que possível, e revestidos arbustivamente de tal modo que se integrem perfeitamente no meio ambiente;
- Devem ser evitadas as “cicatrices” dos locais de empréstimo de materiais. O recurso a plantações compatíveis com as existentes no local, é indispensável sempre que tais empréstimos sejam inevitáveis
- Os dispositivos de drenagem devem ser localizados de forma a que a erosão e os detritos sejam visíveis, ou eliminados quando as condições locais o permitem.

No presente caso de análise de estradas de montanha, existem condicionantes relativas à intervenção no meio natural provocada pela escolha do traçado e segurança. Devendo-se limitar os desenvolvimentos de vias em encostas muito pronunciadas e acidentadas, sem pesar o potencial impacto visual provocado, o desenvolvimento de obras nestes terrenos ao nível da manobrabilidade de maquinarias (por exemplo) torna-a complexa ao nível da segurança em obra e mesmo no que diz respeito ao potencial perigo para o tráfego futuro.



## 5

**ESTRADAS COM CURVAS  
EM LACETE****5.1. GENERALIDADES**

Os lacetes surgem quando dois alinhamentos retos divergem o que obriga a intercalar um terceiro alinhamento e construir duas curvas de aproximação com clotóide que objetivamente concordam em duas formas os alinhamentos inicialmente descritos. O caso particular destas curvas, é bastante usual quando existe a necessidade de vencer grandes elevações em zonas montanhosas bastante proeminentes e acidentadas, onde a utilização de curvas em lacete ao longo de um determinado troço permite a redução dessa inclinação transversal e possível transito de todas as tipologias de veículos.

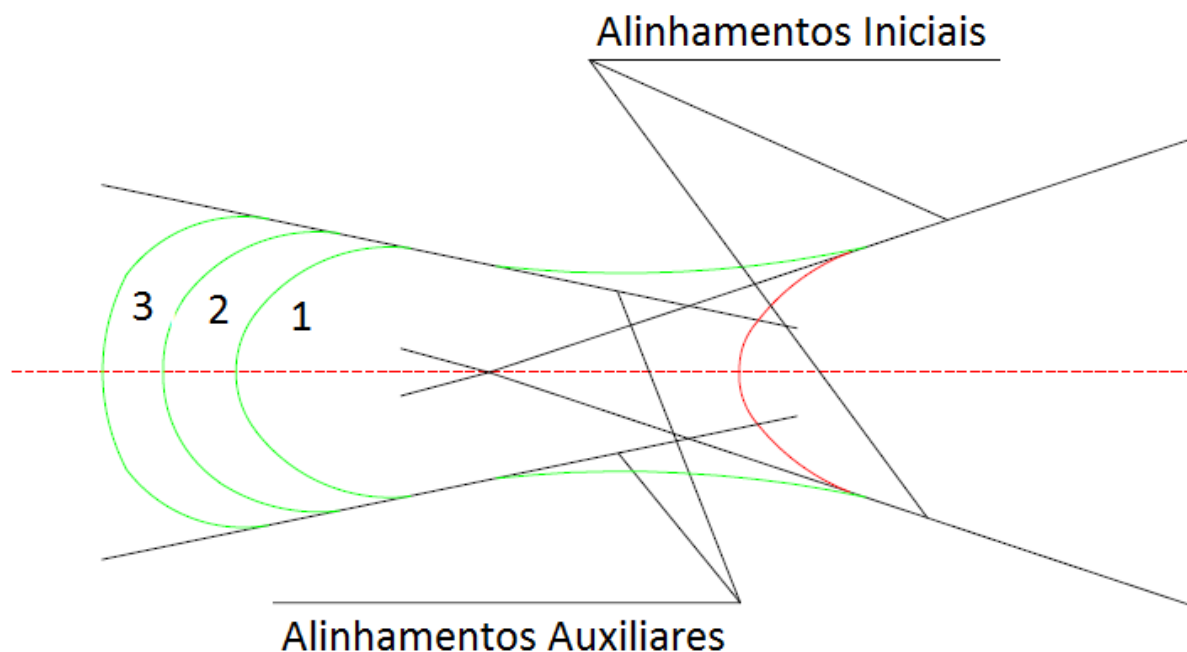


Fig.5.1 – Exemplos de soluções admissíveis para curvas em lacetes

Os custos derivados da construção de uma estrada com troços desta natureza, apresentam, usualmente, um custo bastante elevado por km, devendo assim ser realizado uma série de estudos prévios intensivos de modo a justificar tal obra.

Segundo as Normas de Traçado, [1] [2], existe uma limitação no que diz respeito ao raio interior e exterior das curvas em lacete, como foi anteriormente referenciado, de modo a permitir o cruzamento entre um veículo ligeiro e um camião.

Na Europa é possível contar cerca de 20 estradas com troços que possuam tais características, sendo que nenhuma se localiza em Portugal, estando concentradas na zona dos Alpes, sendo possível encontrar estradas deste tipo na costa Norueguesa e Pirenéus.

## 5.2. LYSEVEGEN – NORUEGA

No exemplo dado pela seguinte imagem torna-se bem evidente as limitações existentes na zona para uma via capaz de vencer o desnível existente entre o nível da água do mar e o topo do fiorde em causa, ao nível da topografia da zona é de referir a dificuldade em limitar a inclinação dos traineis da via existente.

A estrada de Lysevegen (Fig.5.1.), ao longo de todo o seu traçado de 29 km, apresenta a sua cota mais elevada aos 932 metros acima do nível das águas do mar; porem é nesta fase inicial da mesma (como ilustra a imagem) que apresenta um troço inicial com 8 km com uma elevação de 800 metros, onde os primeiros 1,1 km da subida se apresentam sobre a formula de túnel seguidos de uma sequência de curvas em lacetes até ao topo do fiorde. Construída inicialmente de modo a permitir o acesso a uma central hidroelétrica, aberta em 1984, atualmente apenas se encontra aberta apenas 5 meses durante o ano, e mesmo neste espaço temporal existe a possibilidade de ser interdita devido aquando da presença de neve e gelo.



Fig.5.2 - Estrada de Lysevegen [15]



### 5.3. SAN BOLDO PASS - ITÁLIA

Neste exemplo, reconhecido mundialmente, é possível verificar que as limitações existentes neste troço, não se prendem apenas no que diz respeito às inclinações dos traineis e ao nível a vencer, mas também no que às áreas para a implantação das curvas. Tratando-se de um caso particular das curvas em lacete numa determinada secção onde as curvas acabam inseridas numa série de galerias (tuneis).

Nesta sequencia de curvas em lacete o trânsito é limitado a apenas um sentido, sendo o mesmo controlado por semáforos ao longo de cada curva. Esta solução adotada neste caso, apresenta grande utilidade, já que permitiu assim o controle do tráfego, evitando assim a possibilidade do cruzamento de veículos em curva e possibilitando-os apenas em segmentos retos da subida. Com esta medida limitativa do transito, foi também possível, diminuir o volume de escavação ao longo de cada túnel, diminuindo assim o custo da obra.



Fig.5.3 – San Boldo Pass [15]





# 6

## CONCLUSÃO

No âmbito da presente dissertação tornou-se evidente que certos aspetos que dizem respeito às estradas montanhosas não são devidamente descritos e analisados nas Normas de Traçado, [1] [2], bibliografia essencial ao desenvolvimento de vias em estradas nacionais. Em parte, a reduzida quantidade desta tipologia de vias justifica o reduzido número de referências para estas vias, devendo ser equiparadas em alguns aspetos a “estradas de terrenos difíceis” com referências normativas nas Normas de Traçado.

O subdesenvolvimento presente em zonas remotas montanhosas mostra o potencial destas zonas bem assim como a necessidade de desenvolver acessos adequados. Uma das grandes condicionantes encontradas é ao nível das limitações dos traineis possíveis de desenvolver, de modo a que permita o trânsito de veículos pesados, essenciais ao desenvolvimento futuro destas zonas. Perante estas questões ao nível do perfil longitudinal, foi escolhido um veículo pesado para análise, consoante o parque automóvel nacional e feita uma análise ao sentido ascendente e descendente, de modo a concluir acerca da inclinação máxima dos traineis e possíveis soluções para diferentes situações atmosféricas menos benéficas para a circulação automóvel.

Nas questões relacionadas com o perfil transversal da via, os vários elementos devem-se revelar como benéficos para a capacidade da via, sendo de destacar os elementos relativos à drenagem, onde as passagens hidráulicas se devem destacar.

Para que seja possível o cruzamento entre veículos, o parâmetro a analisar foi a sobrelargura das vias ao longo de curvas circulares de raio reduzido, onde se pode concluir que um aumento da mesma entre os valores de 1,0 metro e 2,0 metros se revela como suficiente para permitir o cruzamento entre veículos de diferentes tipologias ao longo de um traçado sinuoso.

Ao nível do projeto geométrico da elaboração de estradas em zonas montanhosas, torna-se importante limitar futuramente possíveis valores de ângulos de interseção entre traineis tendo em conta a inclinação longitudinal do traçado, acrescentando sempre que possível um conjunto de segmentos auxiliares de modo a que seja possível aumentar o raio da curva referente à interseção inicial e assim beneficiar a circulação automóvel.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Junta Autónoma de Estradas (JAE). *Normas de Traçado*. M.T.F. – Gabinete de Publicidade Lda, Almada, 1994
- [2] Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP (InIR). *Norma de Traçado – Revisão*. 2010.
- [3] França, Adalberto Quelhas da Silva. *Vias de Comunicação – Apontamentos Teórico-práticos*. afeup, Porto.
- [4] França, Adalberto Quelhas da Silva. *Vias de Comunicação II – Apontamentos Teórico-práticos*. afeup, Porto.
- [5] França, Adalberto Quelhas da Silva. *Vias de Comunicação – Apontamentos Teórico-práticos*
- [6] França, Adalberto Quelhas da Silva. *Vias de Comunicação. Apontamentos das aulas de Vias de Comunicação*. Porto.
- [7] Estradas de Portugal, S.A. - *Catálogo de Degradação de Pavimentos Rodoviários, Volume 1*. – Lisboa, 2008.
- [8] Bardal, K., Mathisen, Terje – Winter problems on mountain passes – Implications for cost-benefit analysis – Nordland, Norway 2015
- [9] Decreto-lei 133/2010, de 22 de Dezembro 2010, de acordo com a retificação nº 5/2011
- [10] França, Adalberto Quelhas da Silva. *Complementos de Estradas e Aeródromos– Apontamentos Teórico-práticos*. 2015, Porto.
- [11] <http://www.acap.pt/pt/pagina/36/estat%C3%ADsticas/> (21/3/2016)
- [12] Service d’Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). *Recommandations Techniques pour la Conception Générale et la Géométrie de la Route – Aménagement des Routes Principales*. 1994
- [13]. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Decreto-Lei n.º 133/2010. Diário da República, 1.ª série, N.º 246, pp. 5884 - 5890, 22 de Dezembro de 2010 (retificação nº 5/2011)*
- [14] <http://web.lettras.up.pt/asaraujo/geofis/t1.html>
- [15] <http://www.dangerousroads.org/>
- [16] Yuri Beletsky – 7 de Dezembro de 2009
- [17] <http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/o-mercado-da-energia-eolica-no-mundo> (30/3/2016)
- [18] Volvo - *Volvo Order Information - FM12*
- [19] Volvo - *Volvo R/SR 1400/1700 Transmission*
- [20] <http://truck-data.com/en/truck/Volvo/FM12/D12C340-6x4/372> (5/4/2016)
- [21] <http://www.ceco.net/> (27/5/2016)
- [22] <http://www.europa-turismo.net/mapas.htm>
- [23] Silva, F. *Particularidades das estradas de montanha*. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, tese de dissertação de mestrado, Porto 2014



## ANEXOS

## ANEXO A

Postos udométricos	T (anos)	2	5	10	20	50	100
Lisboa (1860-1983)	a	202,72	259,26	290,68	317,74	349,54	365,62
	b	-0,577	-0,562	-0,549	-0,538	-0,524	-0,508
Bragança	a	165,01	199,94	228,16	253,14	283,10	304,23
	b	-0,586	-0,575	-0,573	-0,571	-0,568	-0,566
Vila Real	a	176,38	284,23	353,25	416,59	495,54	553,04
	b	-0,576	-0,619	-0,634	-0,644	-0,653	-0,658
Porto	a	209,89	268,60	303,74	334,95	372,82	399,66
	b	-0,606	-0,613	-0,617	-0,619	-0,622	-0,624
Penhas Douradas	a	134,52	170,81	205,95	239,52	282,55	314,54
	b	-0,456	-0,415	-0,422	-0,429	-0,437	-0,442
Viseu	a	377,31	460,01	500,67	532,12	565,65	586,47
	b	-0,756	-0,415	-0,754	-0,750	-0,745	-0,745
Fonte Boa	a	180,84	222,90	251,87	278,64	310,56	332,88
	b	-0,601	-0,579	-0,577	-0,575	-0,572	-0,570
Évora	a	198,68	198,71	277,24	374,00	531,55	670,22
	b	-0,601	-0,444	-0,491	-0,538	-0,595	-0,634
Faro	a	204,89	245,27	280,32	311,58	349,29	376,10
	b	-0,584	-0,555	-0,556	-0,557	-0,558	-0,559
Praia da Rocha	a	169,22	227,44	266,64	301,99	345,00	375,67
	b	-0,603	-0,598	-0,600	-0,601	-0,601	-0,602
V.R.Santo António	a	250,33	309,25	350,56	388,44	434,89	468,58
	b	-0,639	-0,630	-0,631	-0,633	-0,636	-0,638
S.Catarina (Funchal)	a	193,12	228,83	248,70	265,72	285,72	299,45
	b	-0,517	-0,512	-0,508	-0,505	-0,502	-0,499
Porto Santo	a	268,17	328,67	359,72	385,91	417,06	438,66
	b	-0,643	-0,589	-0,560	-0,536	-0,511	-0,496
A.Heroísmo (Açores)	a	192,95	220,04	235,20	248,19	263,43	273,89
	b	-0,500	-0,477	-0,465	-0,456	-0,446	-0,440

**Valores médios do Coeficiente de Escoamento para utilização na fórmula Racional**

<b>Tipologia de ocupação</b>	<b>C (Coeficiente de escoamento)</b>
<b>Comercial</b>	
No centro da cidade	0,70-0,95
Nos arredores	0,50-0,70
<b>Residencial</b>	
Habitações unifamiliares	0,30-0,50
Prédios isolados	0,40-0,60
Prédios geminados	0,60-0,70
Suburbano	0,25-0,40
<b>Industrial</b>	
Pouco denso	0,50-0,80
Muito denso	0,60-0,90
Parques e cemitérios	0,10-0,40
Campos de jogos	0,20-0,40
<b>Tipologia da superfície</b>	
<b>Pavimento</b>	
Betuminoso	0,70-0,95
Betão de cimento	0,80-0,95
Passeio para peões	0,75-0,85
Coberturas (telhados)	0,75-0,95
<b>Relvado sobre solo permeável</b>	
Plano $i < 1\%$	0,05-0,10
Médio $1\% < i < 6\%$	0,10-0,15
Inclinado $i > 6\%$	0,15-0,20
<b>Relvado sobre solo impermeável</b>	
Plano $i < 1\%$	0,13-0,17
Médio $1\% < i < 6\%$	0,18-0,22
Inclinado $i > 6\%$	0,25-0,35

**Valores do número de escoamento para regiões urbanas e suburbanas [10]**

<b>UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO</b>	<b>TIPO DE SOLO</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Zonas cultivadas: sem medidas de conservação do solo	72	81	88	91
com medidas de conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou baldios: em más condições	68	79	86	89
em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: cobertura má, sem “Mulch”	45	66	77	83
boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, cemitérios, etc.				
Boas condições: relva cobrindo mais de 75% da área	39	61	74	80
Condições razoáveis: relva cobrindo de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios (85% de área impermeável)	89	92	94	95
Zonas industriais (72 % de área impermeável)	81	88	91	93
Zonas residenciais:				
Áreas médias dos lotes      Percentagem média impermeável				
< 500 m <sup>2</sup> 65 %	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup> 38 %	61	75	83	87
1300 m <sup>2</sup> 30 %	57	72	81	86
2000 m <sup>2</sup> 25 %	54	70	80	85
4000 m <sup>2</sup> 20 %	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:				
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
gravilha	76	85	89	91
terra	72	82	87	89

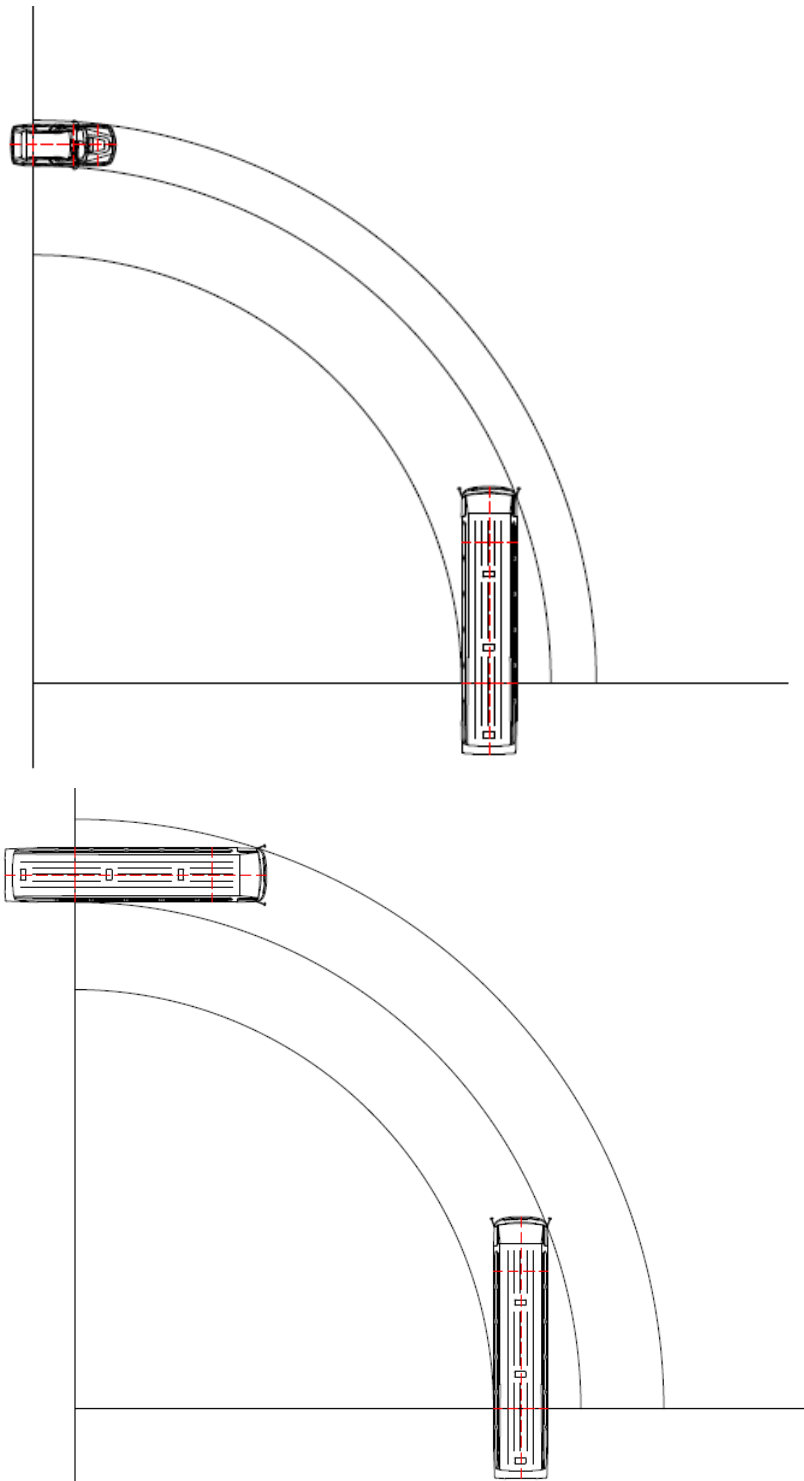
## Valores do número de escoamento para regiões rurais [10]

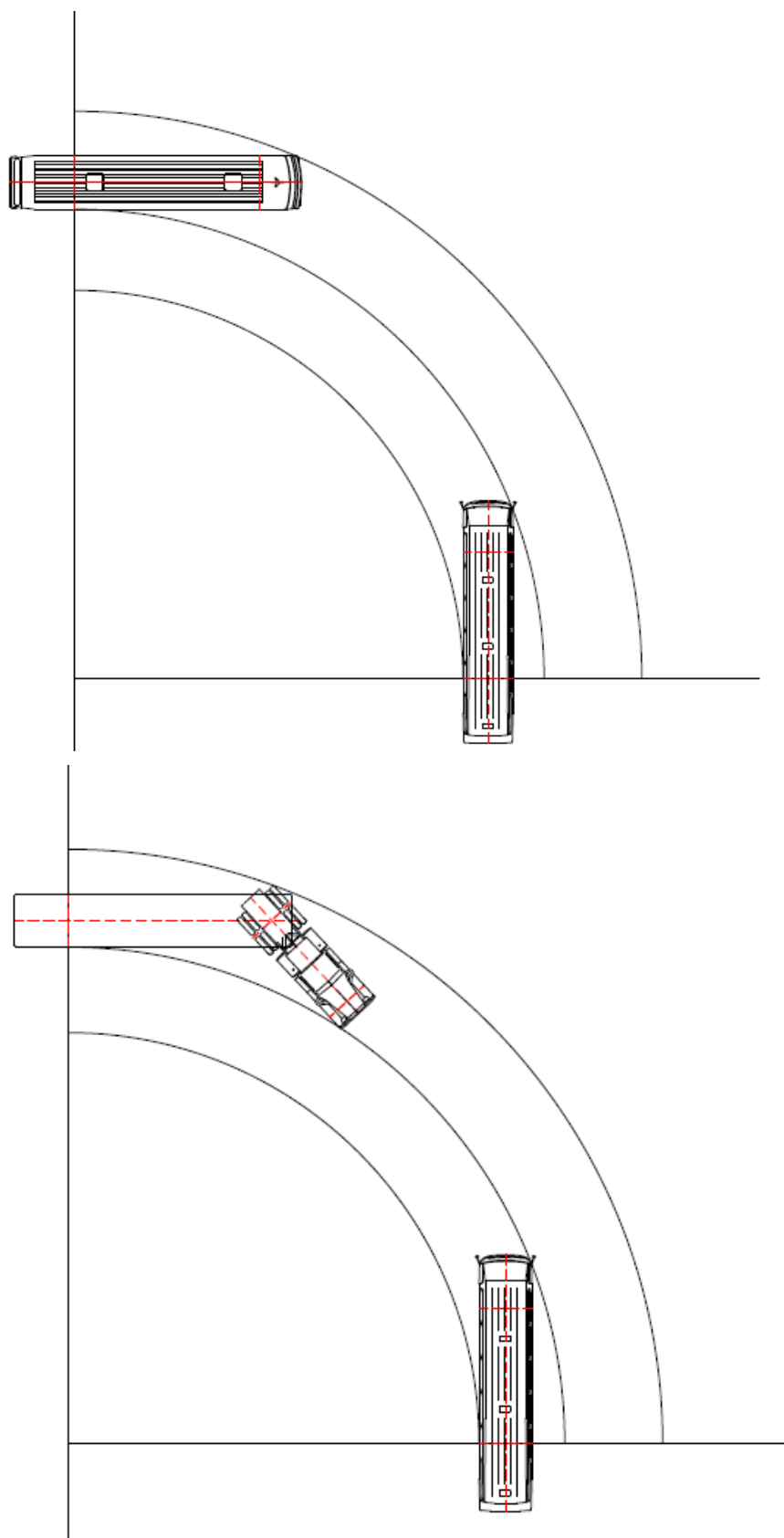
UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE	TIPO DE SOLO			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	Segundo o maior declive	64	76	84	88
	Segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	Segundo as curvas de nível e em terraço	60	71	79	82
Rotações de culturas	Segundo o maior declive	62	75	83	87
	Segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	Segundo as curvas de nível e em terraço	57	70	78	82
Pastagens	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
	Pobre, segundo as curvas de nível	47	67	81	88
	Normal, segundo as curvas de nível	25	59	75	83
	Boa, segundo as curvas de nível	6	35	70	79
Prado permanente	Normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	Normal	59	74	82	86
Estradas	Pavimento permeável	72	82	87	89
	Pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	Muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	Abertas ou de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normal	36	60	73	79
	Densas ou de alta transpiração	25	55	70	77
	Muito densas ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável		100	100	100	100

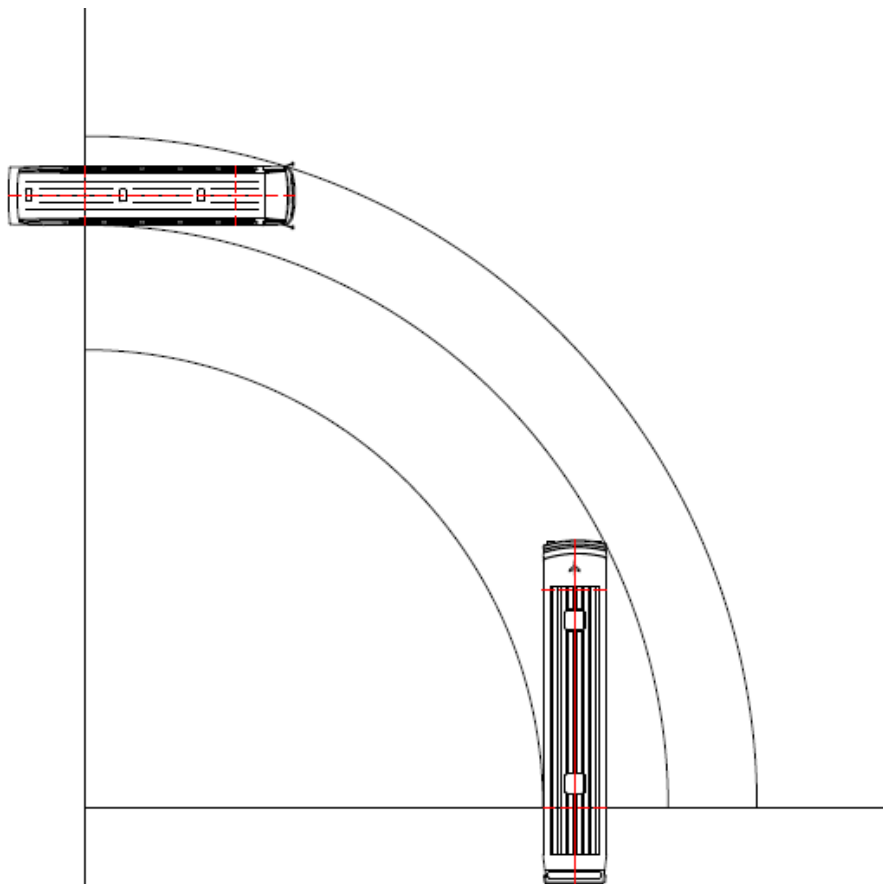
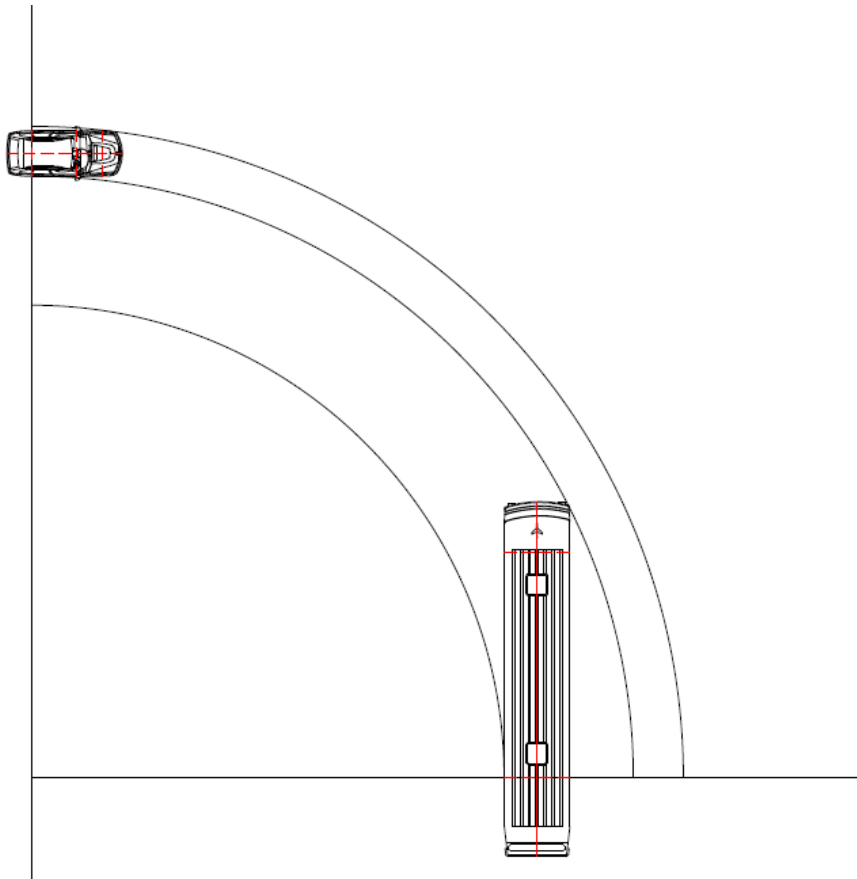


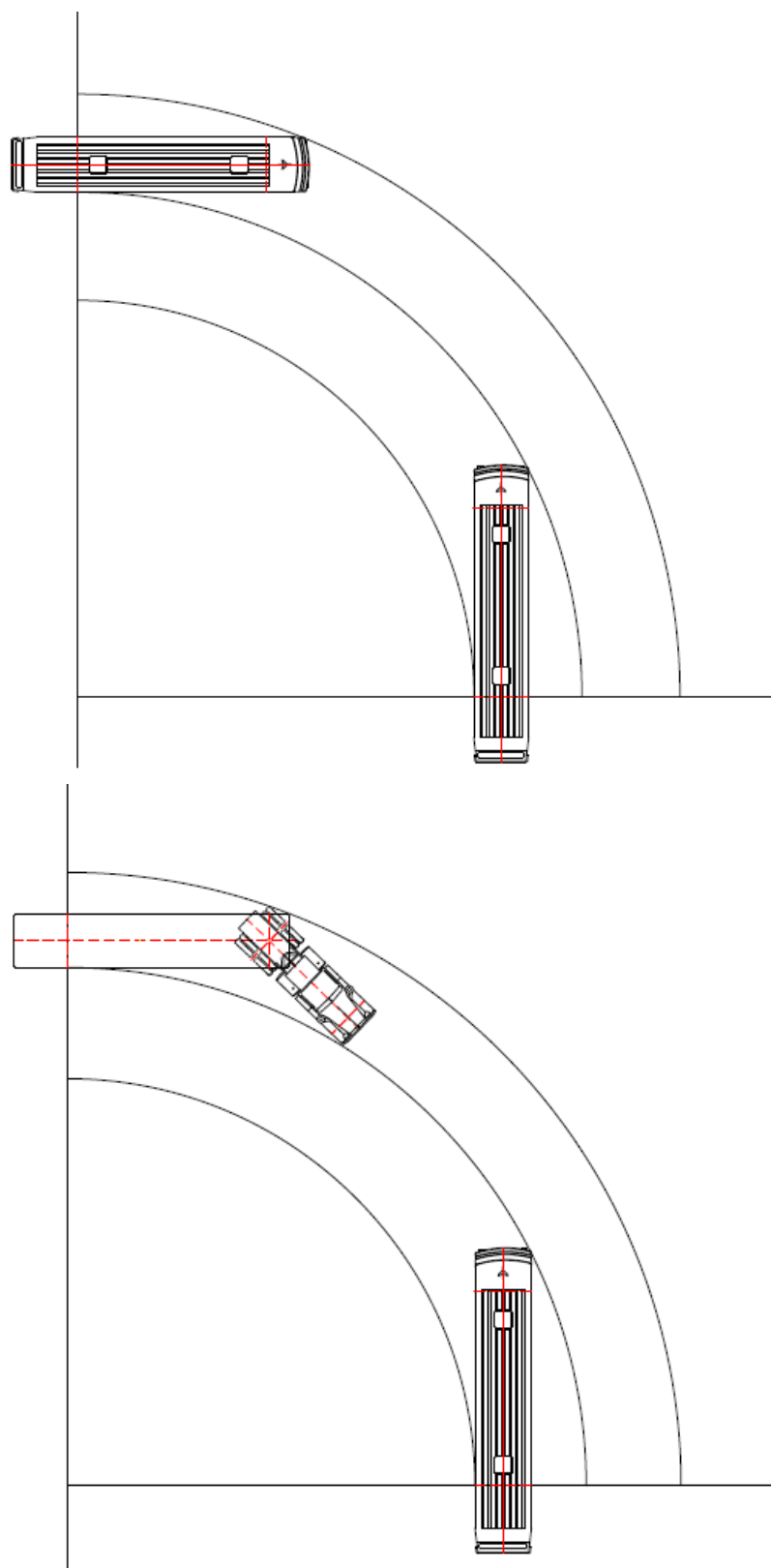
ANEXO B

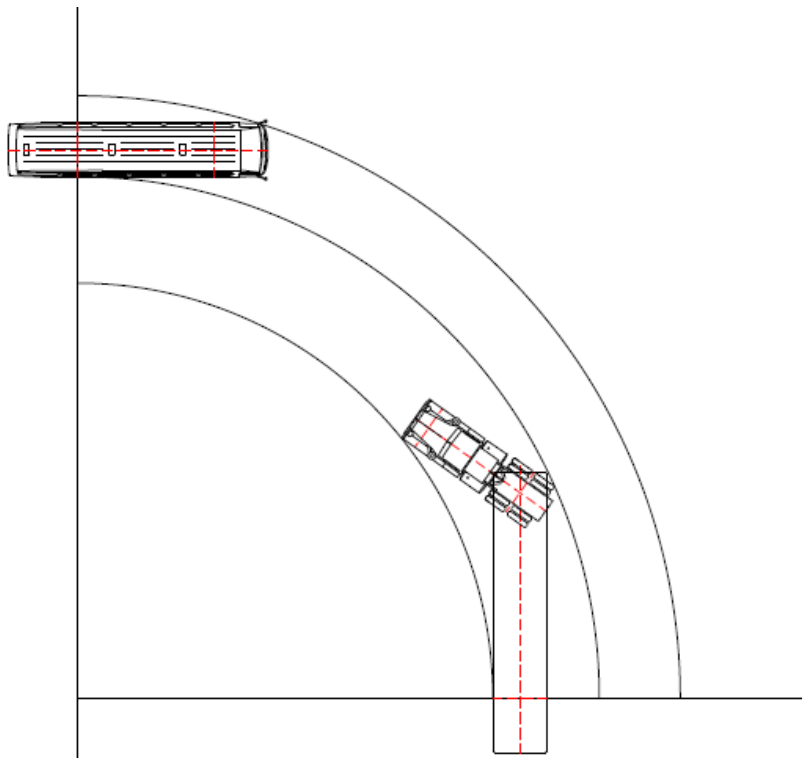
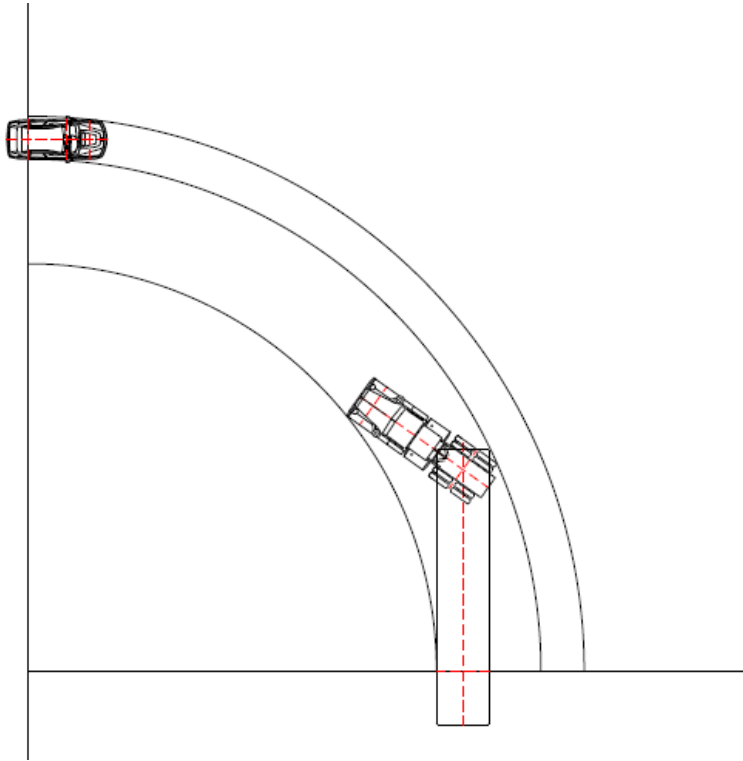
- Interceções entre veículos correspondentes ao Quadro 3.4 para curvas de raio interior de 20 metros

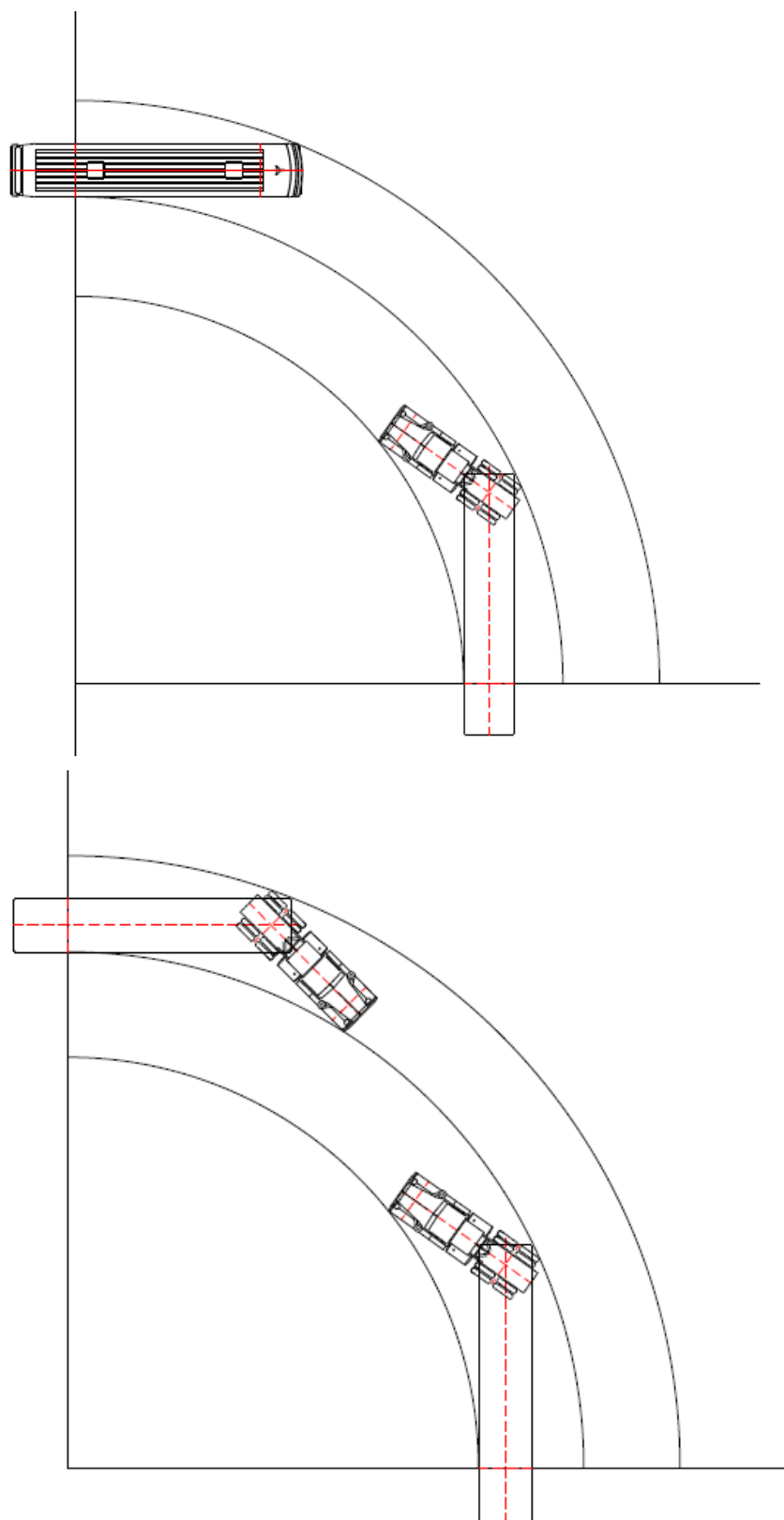




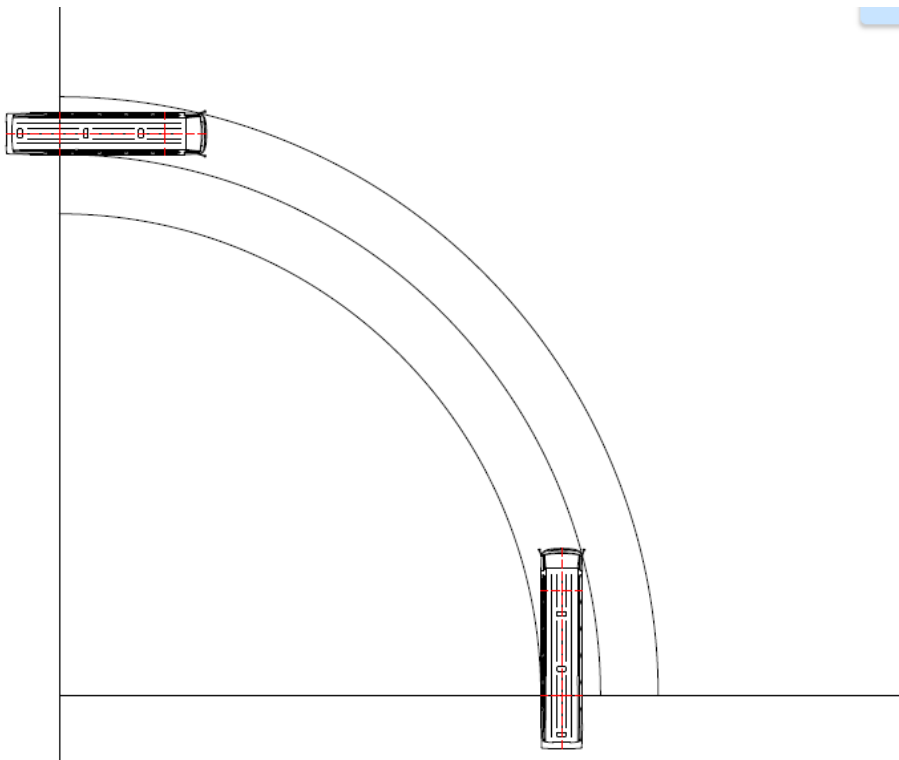
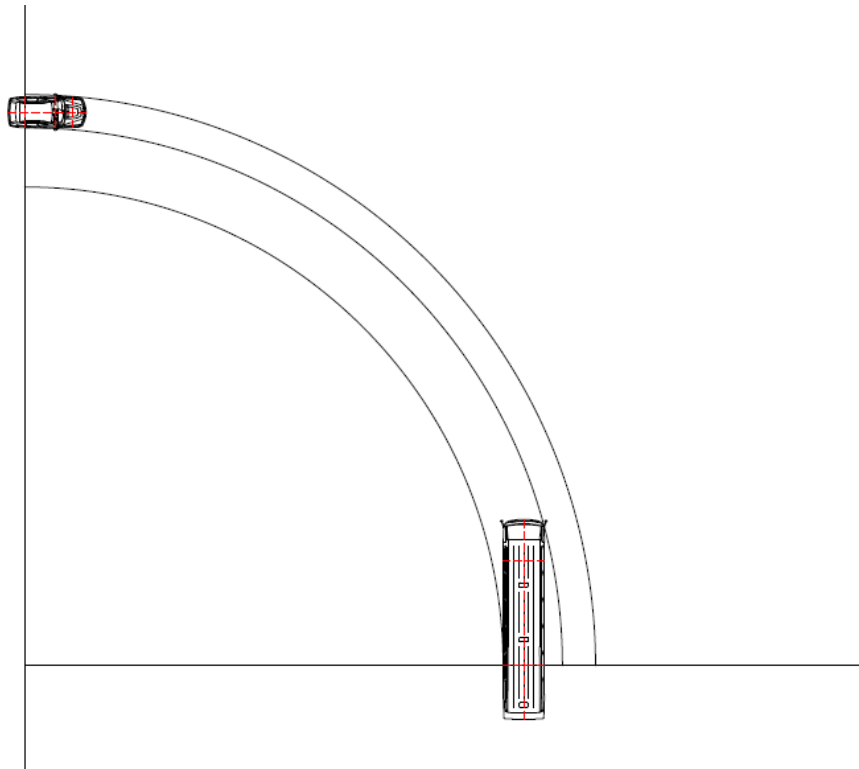


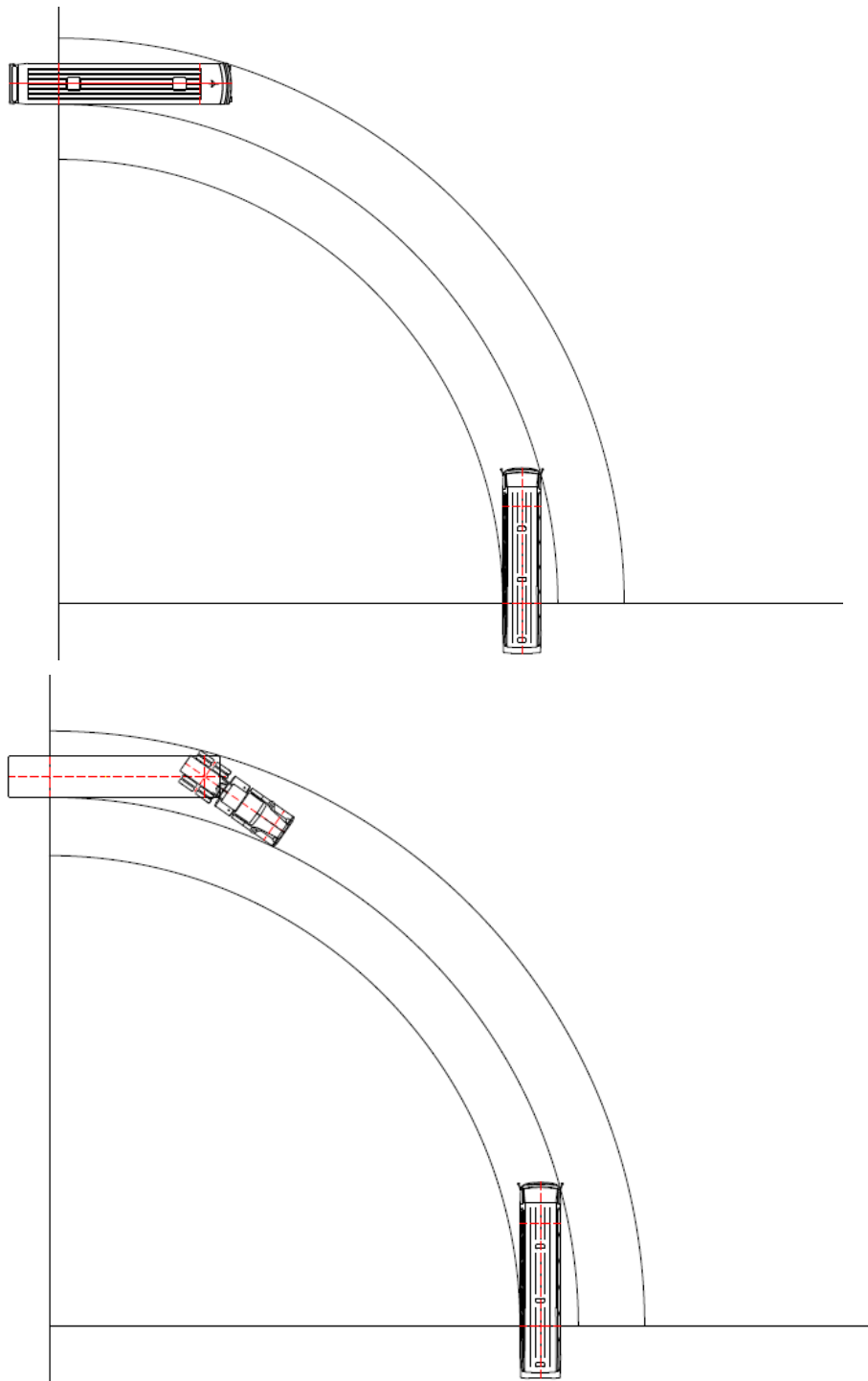




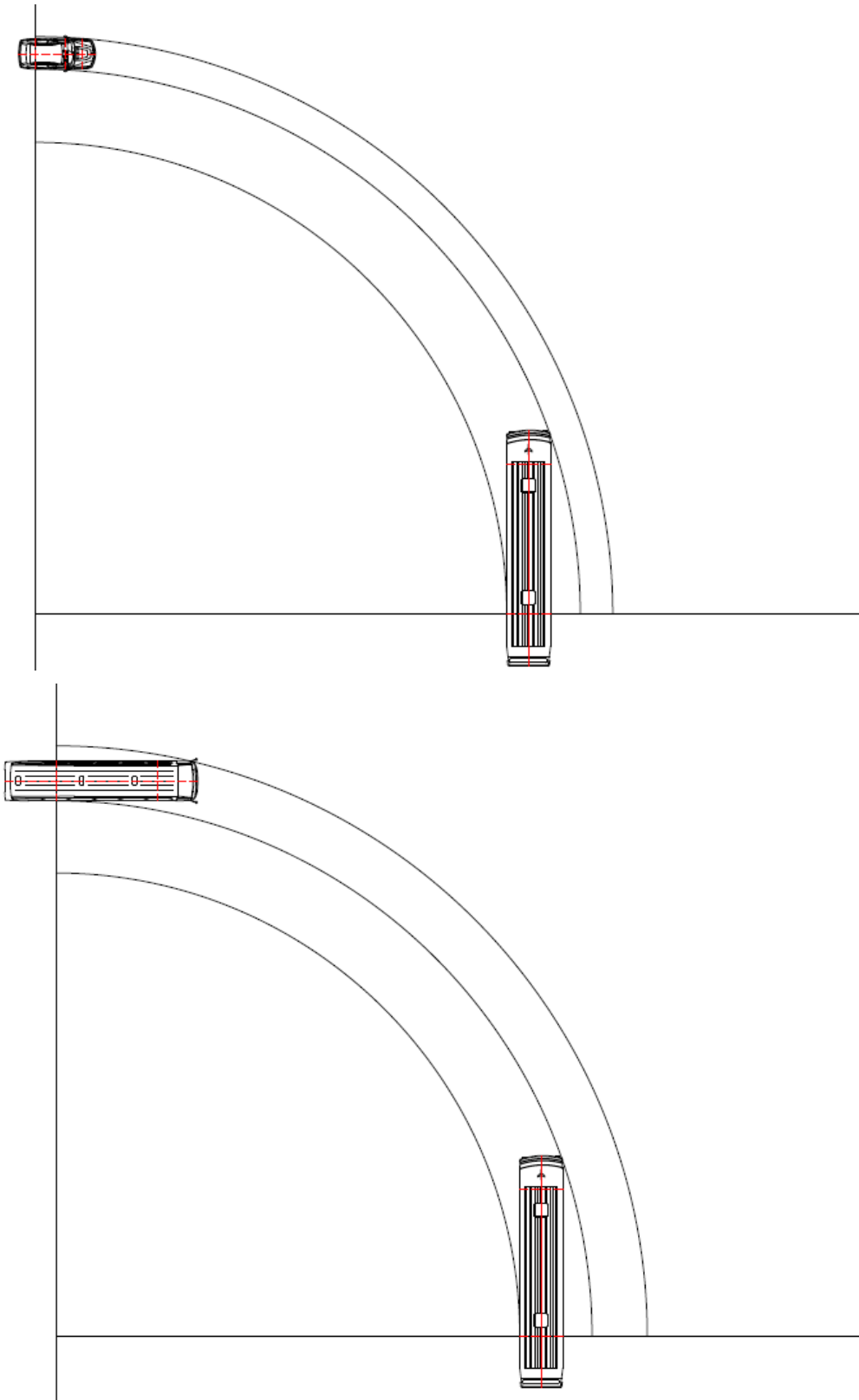


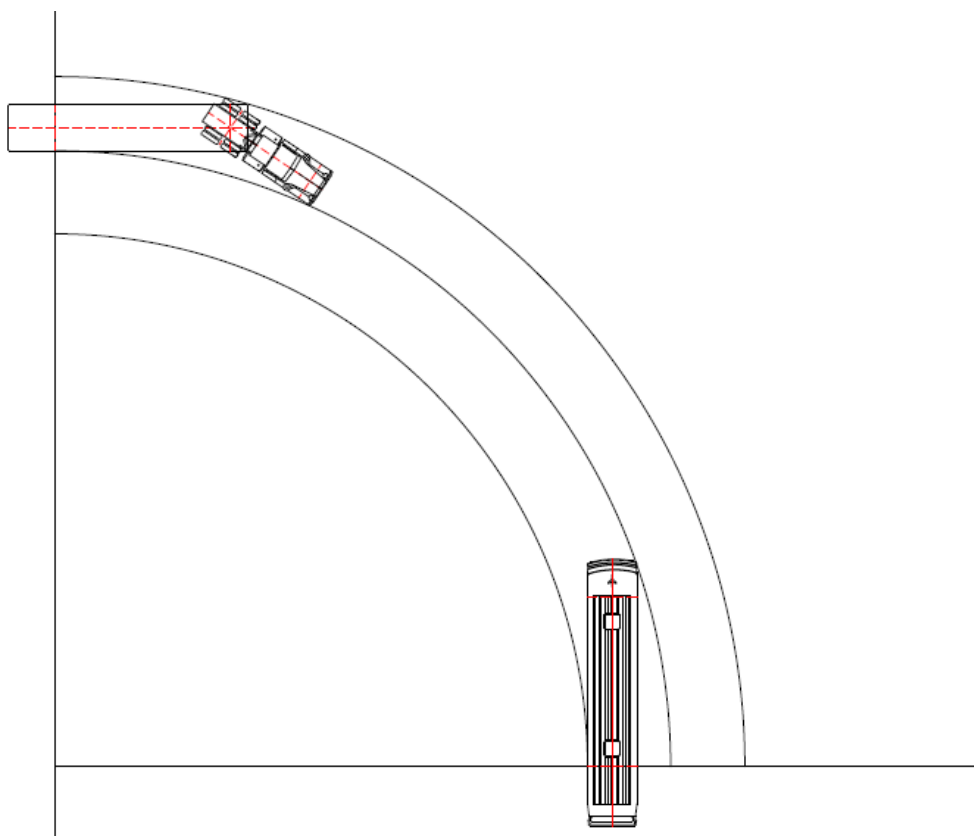
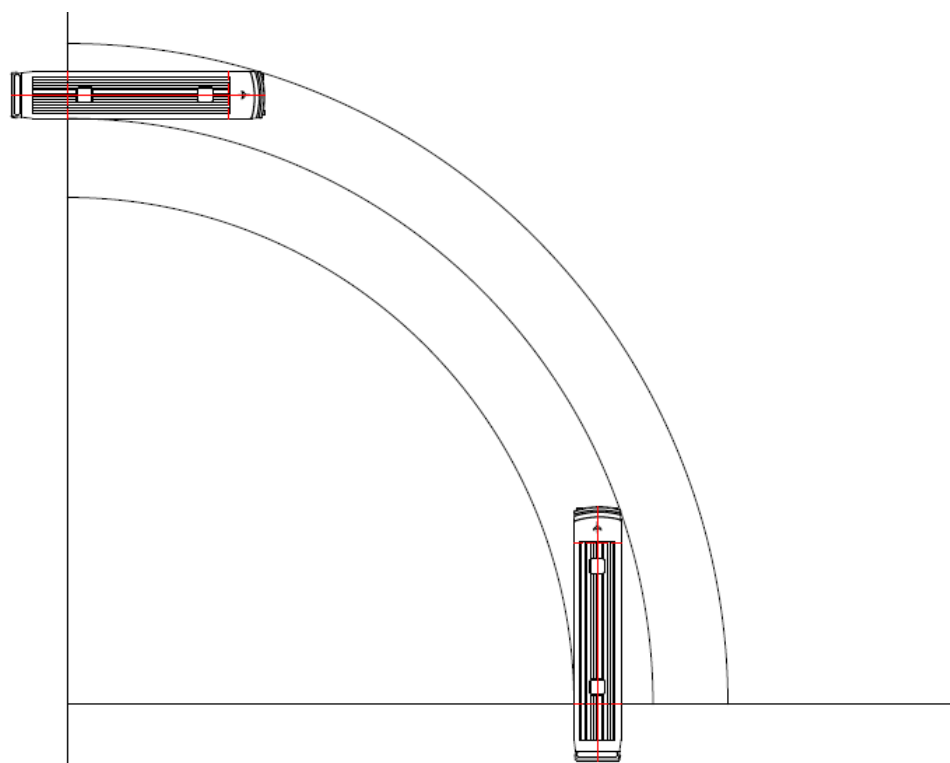
- Interceções entre veículos correspondentes ao Quadro 3.4 para curvas de raio interior de 30 metros.

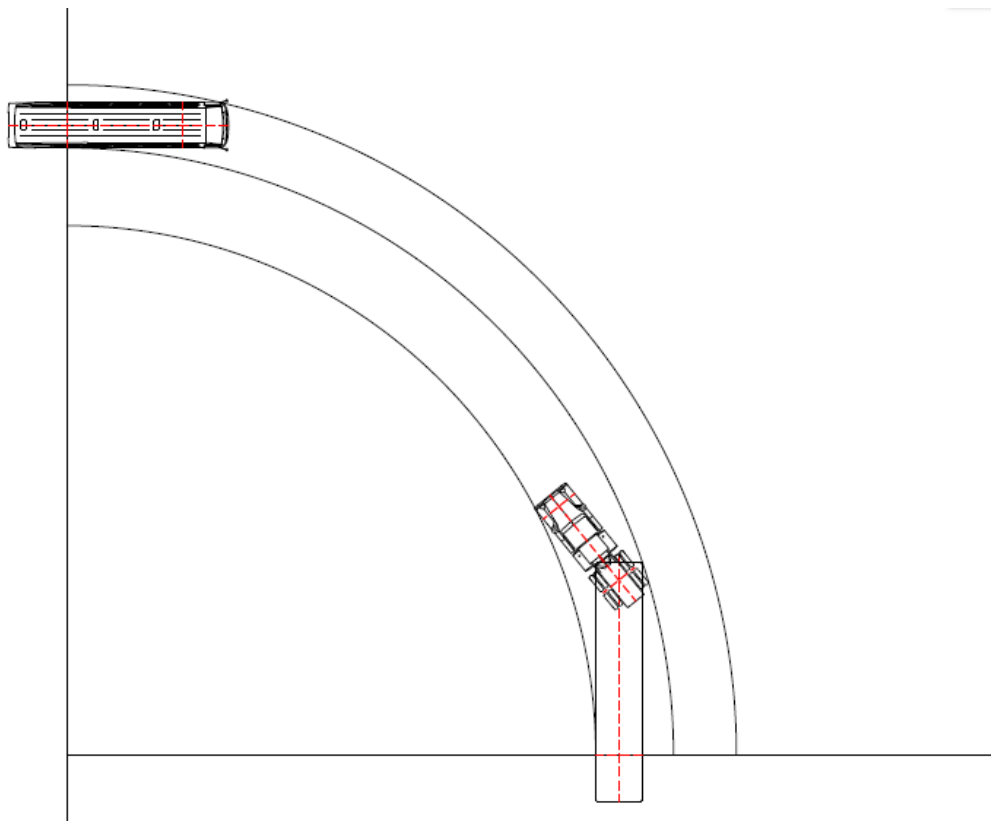
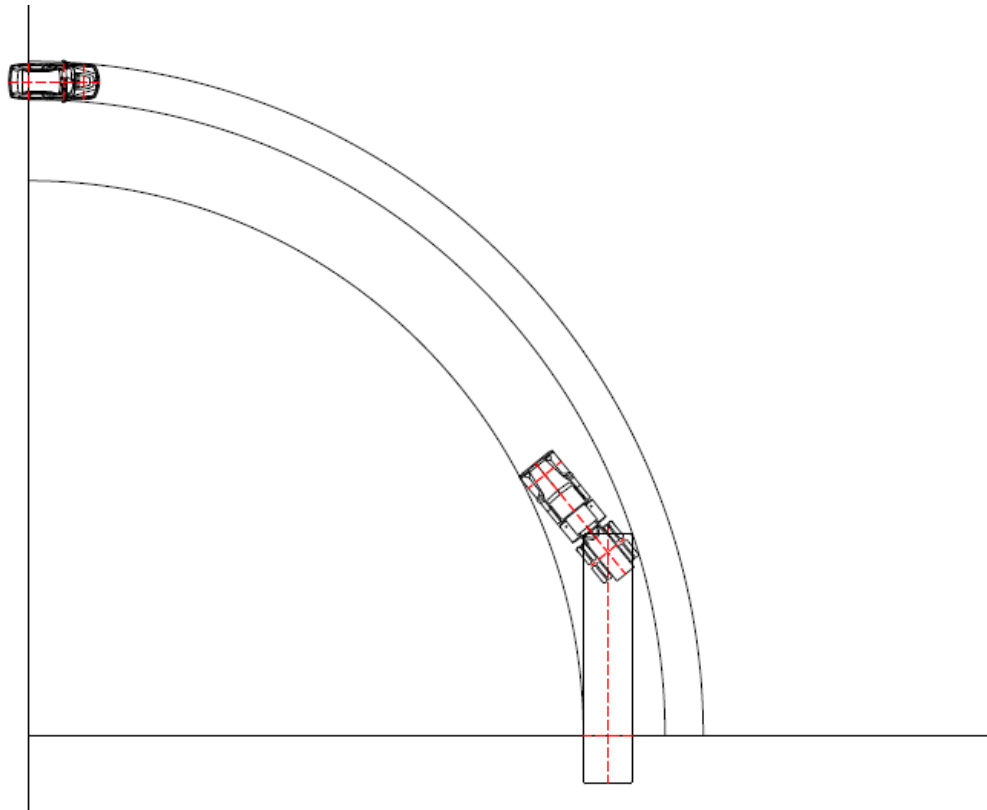


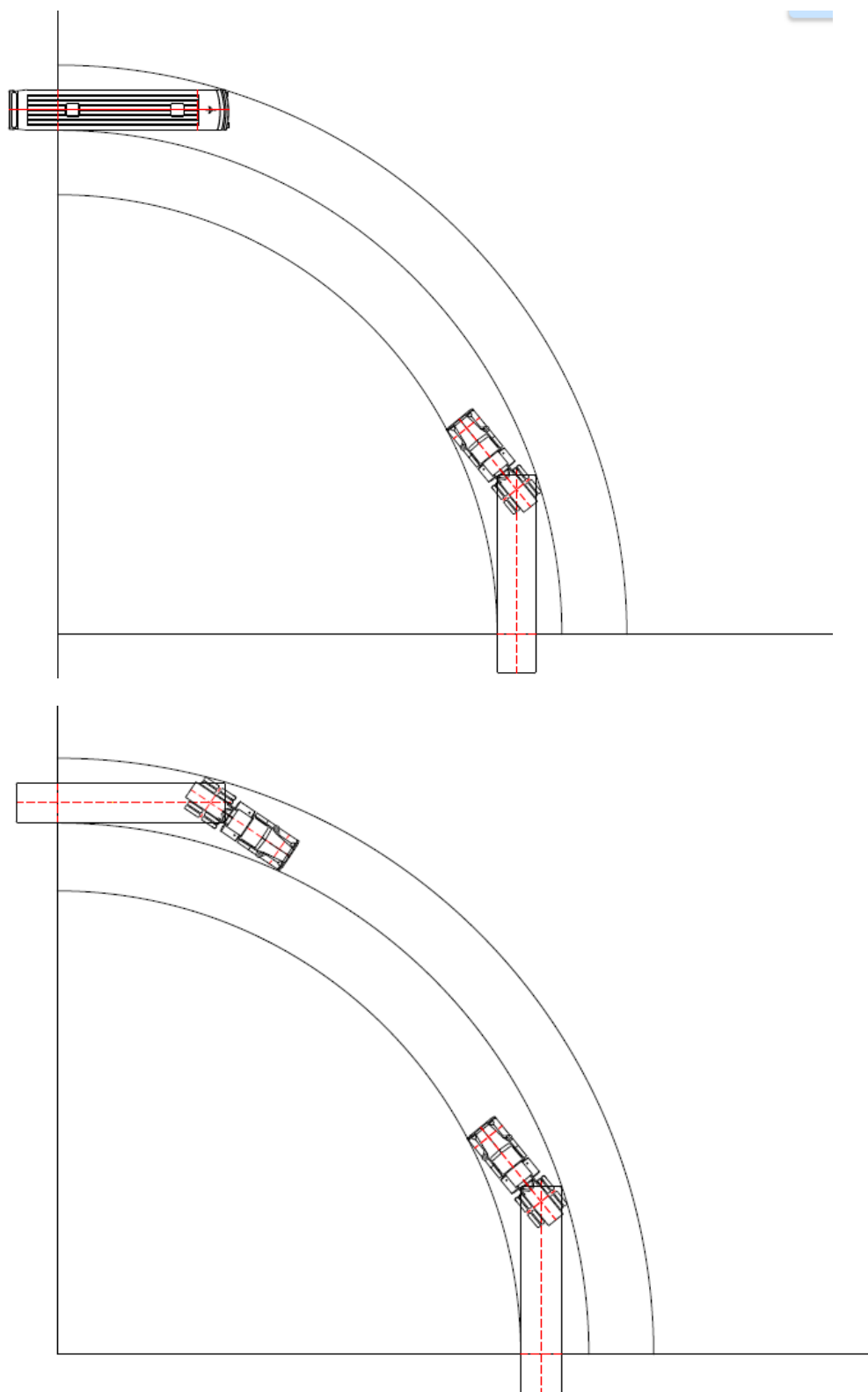












- Interceções entre veículos correspondentes ao Quadro 3.4 para curvas de raio interior de 40 metros.

